

SERIE A, ORSAY
N° D'ORDRE :
35

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS
CENTRE D'ORSAY
POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ES SCIENCES

PAR

Jacques BRUN

1^{re} THESE. — LA CERCOSPORIOSE DU BANANIER EN GUINÉE. ÉTUDE DE LA PHASE
ASCOSPORÉE DU *MYCOSPHARELLA MUSICOLA* LEACH

2^e THESE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le

1963

devant la Commission d'examen.

MM. MANGENOT *Président.*

LEMEE

CHEVAUGEON

} *Examineurs.*

PARIS

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHES FRUITIÈRES OUTRE MER (IFAC)

1963

SÉRIE A, ORSAY
N° D'ORDRE :
35

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS
CENTRE D'ORSAY

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ES SCIENCES

PAR

Jacques BRUN

1^{re} THESE. — LA CERCOSPORIOSE DU BANANIER EN GUINÉE. ÉTUDE DE LA PHASE
ASCOSPORÉE DU *MYCOSPHAERELLA MUSICOLA* LEACH

2^e THESE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le

devant la Commission d'examen.

MM. MANGENOT *Président.*

LEMEE

CHEVAUGEON

} *Examineurs.*

PARIS

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHES FRUITIÈRES OUTRE MER (IFAC)

1963

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS



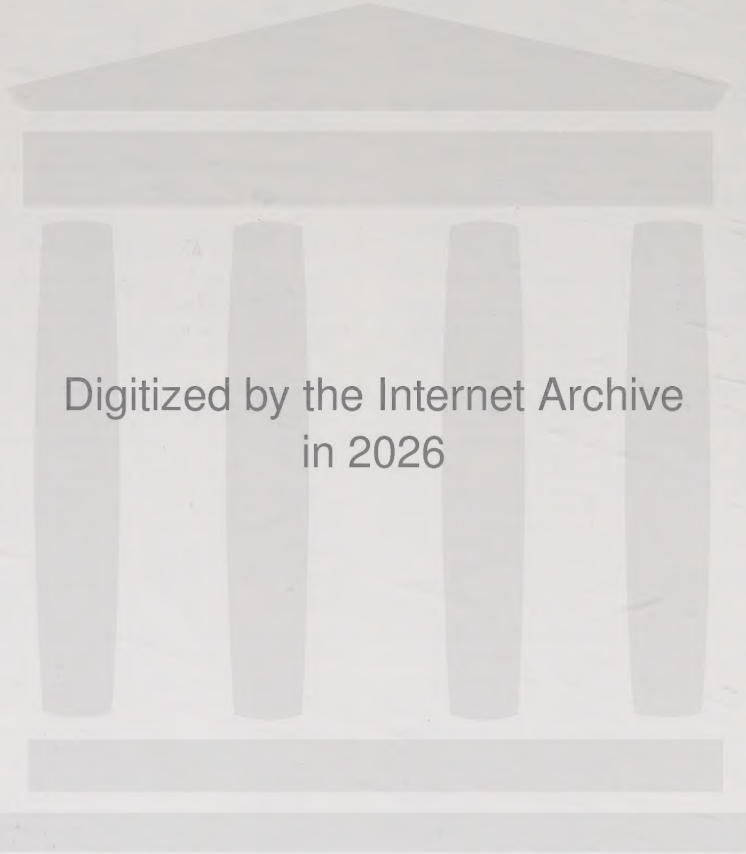
Doyen.....M. ZAHANSKY

PROFESSEURS

G. JULIA	T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	VASSY	T	Physique de l'atmosphère.
PRENANT	T	Anatomie et Histologie comparée.	DESTOUCHES	T	Théories physiques.
GRASSE	T	Evolution des êtres organisés.	AMIEL	T	Chimie générale.
PREVOST	T	Chimie organique.	ROCART	T	Minéralogie et Cristallog.
WYART	T	Minéral et Cristallog.	J.P. MATHIEU	T	Physique optique.
TEISSIER	T	Zoologie.	COUTEAUX	T	Biologie animale (P.C.B.).
MANGENOT	T	Biologie végétale (Orsay).	MAY	T	Zoologie (Orsay).
AUGER	T	Physique quantique et Relativité.	CHOQUET	T	Théorie des fonctions et topologie.
MONNIER	T	Physiologie générale.	FELDMANN	T	Biologie végétale marine.
PIVETEAU	T	Paléontologie.	GUINIER	T	Physique des solides (Orsay).
ROCARD	T	Physique (E.N.S.).	JOST	T	Physiologie comparée.
CARTAN	T	Mathématiques (E.N.S.).	FORTET	T	Calcul des probabilités et physique mathématique.
LAFFITTE	T	Chimie générale.	SCHARTZ	T	Calcul diff. et intégral.
FAVARD	T	Géométrie supérieure.	CHOUARD	T	Physiologie végétale.
COULOMB	T	Physique du Globe.	MALAVARD	T	Aviation (Techn. aéronaut.).
Mie COUSIN	T	Biologie animale (SPCN).	BRELOT	T	Calcul diff. et intégral.
CHRETIEN	T	Chimie minérale.	NORMANT	T	Chimie organique.
DRACH	T	Zoologie.	BENARD	T	Chimie minérale.
KASTLER	T	Physique (E.N.S.).	BUVAT	T	Botanique (E.N.S.).
EPHRUSSI	T	Génétique.	DUGUE	T	Statistiques mathématiques.
RIVIERE	T	Géologie SPCN et Sédim.	SOULAIRAC	T	Psychophysiologie.
GAUTHERET	T	Biologie végétale (PCB).	ULRICH	T	Physiologie végétale.
LUCAS R.	T	Recherches physiques.	MARECHAL	T	Optique théorique et appliquée.
THOMAS A.	T	Biologie cellulaire.	KIRRMANN	T	Théories chimiques.
ARNULF	T	Optique appliquée.	CHADEFAUD	T	Botanique.
MORAND	T	Physique Enseignement.	Mie LE BRETON ...	T	Physiologie de la nutrition.
SOLEILLET	T	Physique (P.C.B.).	SALEM	T	Mathématiques générales.
FORTIER	T	Mécanique Exp. des Fluides.	LELONG	T	Application de l'analyse à la géométrie.
DANJON	T	Astronomie.	DEVILLERS	T	Anatomie et Histologie comparées.
PETIT	T	Biologie maritime.	EHRESMANN	T	Topologie algébrique.
QUENEY	T	Météorologie et dynamique atmosphérique.	FRANCON	T	Physique (SPCN).
GALLIEN	T	Embryologie.	GLANGEAUD	T	Géographie physique et géologie dynamique.
EICHORN	T	Botanique.	GODEMENT	T	Mathématiques (M.P.C.).
DE CUGNAC	T	Biologie végétale (SPCN).	PISOT	T	Tech. Mathém. de la Phys.
Mie CAUCHOIS	T	Chimie physique.	ROCH	T	Géologie.
THELLIER	T	Physique du Globe.	SCHATZMAN	T	Astrophysique.
L'HERITIER	T	Biologie générale (Orsay).	TERMIER	T	Paléontologie stratig.
GRIVET	T	Radioélectricité (Orsay).	ZAMANSKY	T	Mathématiques générales.
PONCIN	T	Mécanique générale.	LENNUIER	T	Physique (M.G.P.).
DUBREIL	T	Arithmétique et théorie des nombres.	RIZET	T	Génétique.
QUELET	T	Chimie organique.	ROUTHIER	T	Géologie appliquée.
CAGNIARD	T	Géophysique appliquée.	Mme TONNELAT	T	Physique théorique.
CHAMPETIER	T	Chimie macromoléculaire.	DIXMIER	T	Mathématiques (MPC).
CUVILLIER	T	Micropaléontologie.	SOUCRAY	T	Chimie générale.
JUNG	T	Pétrographie.	AIGRAIN	T	Electrotechnique générale.
TRILLAT	T	Microscopie et diffraction électronique.	BRUSSET	T	Chimie systématique.
WIEMANN	T	Chimie organique et structurale.	M. LEVY	T	Physique théorique des hautes énergies (Orsay).
JACQUINOT	T	Spectroscopie et physique céleste (Orsay).	Mme CHAIX	T	Chimie biologique.
			Mme HUREL-PY	T	Biologie végétale (P.C.B.).

BIAUX T Chimie (M.P.C.).
 BRUN T Mécanique théorique des fluides.
 LEDERER T Chimie biologique.
 Mme DUBREIL T Mathématique (Agrég.).
 Mme LE LONG T Mathématiques II (ENS).
 BELLAIR T Géologie (SPCN).
 COTTE T Physique électricité.
 DUBOIS J.E. T Chimie organique.
 LAMOTTE T Zoologie (ENS).
 MICHEL A. T Chimie minérale (Orsay).
 OLMER T Energétique générale.
 ROUAULT T Electricité (Orsay).
 GAUTHIER T Mécanique appliquée.
 BARCHIEWITZ T Chimie physique.
 BROSEL T Physique atomique.
 BUSER T Physiologie comparée.
 CAMUS T Physiologie végétale BMPV.
 CASTAING T Physique II Thermod. Orsay.
 CURIEN T Minéralo. & Cristallog.
 MOYSE T Physiologie végétale (Orsay).
 NOIROT T Evolution des êtres organisés.
 PANNETIER T Chimie générale.
 POSSOMES T Zoologie.
 PULLMANN T Chimie quantique.
 TEILLAC T Physique Nucl. et radioactivité.
 TONNELAT T Biologie physico-chimique.
 VILLE T Econométrie.
 WILLEMART T Chimie (P.C.B.).
 DODE T Chimie (Orsay).
 FREYMAN T Recherches physiques.
 GUINOCHET T Biologie végétale SPCN (Orsay).
 ROLLET T Chimie minérale.
 Mlle JOSIEN T Chimie SPCN.
 CHEVALLEY T Géométrie algéb. et théorie des groupes.
 ARNOULT T Electronique (Orsay).
 CHAPELLE T Physique (Orsay).
 DELANGE T Mathématiques I (Orsay).
 DENY T Mathématiques gén. (Orsay).
 GERMAIN T Mécanique théor. des fluides.
 LUCAS G. T Géologie.
 ALLARD T Chimie physique.
 BERTHELOT T Physique des particules fondamentales.
 BRICART T Météor. et phys. de l'atmosphère.
 Mme ALBE-FESSARD T Psychophysiologie.
 FRIEDEL T T Physique des solides (Orsay).
 M. JULIA T Etude des moléculaires naturelles complexes.
 LENDER T Biologie animale SPCN Orsay.
 MAGAT T Physico-chimie des radioéléments.
 Mlle QUINTIN T Electrochimie.
 MONOD T Chimie du métabolisme.
 BENOIT T Physiol. anim. (Orsay).
 DE POSSEL T Analyse numérique.
 CHARLOT T Chimie analytique.
 LEMEE T Physiologie végétale BMPV (Orsay).
 GUERIN T Chimie MPC (Orsay).
 CHATELET M. T Chimie PCB.
 JEAN T Physique nucléaire Orsay.
 MATTLER T Physique SPCN.
 BERGERARD T Zoologie (Orsay).
 BERTIN T Electronique (Orsay).
 BOUSSIÈRES T Chimie des radioélem. (Orsay).
 Mme COUTURE T Thermodynamique et Mécanique physique.
 ELLENBERGER T Géologie des grandes régions du globe.
 FRANC T Biologie animale PCB.
 SCHNELL T Botaniq. tropicale (Orsay).

STOLKOWSKI T Chimie biolog.
 ACHER T (Orsay).
 BAUDOUIN T Biologie animale PCB.
 BEAUMONT T Biologie animale SPCN.
 BLAMONT T Géophysique ionosphère.
 BOURREAU T Botanique.
 CURIE D. T Physique MGP.
 DURAND-DELGA T Géologie.
 FREON T Chimie organique (Orsay).
 HELLER T Physiologie végétale.
 TORTRAT T Calcul des probabilités.
 CAILLEUX T Géologie (SPCN).
 MAGNAN T Physique SPCN.
 DAUDEL T Mécanique ondulatoire appliquée à la chimie théorique et à la phys. nucléaire.
 Mlle FOURCROY T Biologie végétale SPCN.
 Mme CHOQUET-BRUHAT T Mécanique analytique et mécanique céleste.
 Mlle VEIL T Physiologie générale.
 LWOFF T Microbiologie.
 SIESTRUNCK T Mécanique physique et expérimentale.
 LACOMBE T Métallurgie des métaux nucléaires.
 BROCHARD T Physique PCB (Orsay).
 CABANNES T Mécanique générale.
 LESIEUR T Mathématiques I (Orsay).
 MAZET T Mécanique générale (Orsay).
 CAIRE T Géographie physique et géologie dynamique.
 COMOLET T Mécanique des fluides.
 CORABOEUF T Physiologie animale Orsay.
 DELLOUE T Physique de l'exosphère.
 GORENFLOT T Botanique II (Orsay).
 HOUILLOIN T Biologie animale PCB.
 JULIEN J. T Chimie SPCN (Orsay).
 MALGRANGE T Technique mathématique de la physique (Orsay).
 OLIVIER T Antropologie.
 NOZERAN T Botanique II (Orsay).
 BLANC-LAPIERRE T Physique ENS (Orsay).
 CHEVAUGEON T Botanique (Orsay).
 KAHANE T Mathématiques (Orsay).
 SAMUEL T Mathématiques ENS féminine.
 KOURGANOFF T Astronomie (Orsay).
 THIRY T Mécanique céleste.
 ABLES T Physique SPCN.
 AMAT T Physique PCB.
 AUBOIN T Géologie.
 Mme BENOIT-GUEUTAL T Physique nucléaire et radioactivité.
 BOUGIS T Biologie marine (Villefranche s/mer).
 BRUHAT T Mathématiques MPC.
 BRUNN T Géologie historique (Orsay).
 CHABBAL T Physique MGP (Orsay).
 DEHEUVELS T Mathématiques propé. (Orsay).
 D'ESPAGNAT T Physique théorique (Orsay).
 FURON T Géologie SPCN.
 Mme GANS T Génétique.
 GENEVES T Biologie végétale PCB.
 GUILBERT T Physique (CUS Orléans).
 HUPE T Pétrographie.
 HOLLANDE T Biologie générale.
 LIONS T Analyse numérique.
 MAITTE T Chimie PCB.
 MEYER T Physique propédeutique.
 NICOLAS T Géologie appliquée.
 PANIGEL T Biologie générale.
 RAVIER T Pétrographie.
 ROSEAU T Mécanique théorique des fluides.
 ROUBINE T Electronique.
 SILBER T Chimie P.C.B.
 UEBERSFELD T Electronique.
 YVON T Théories physiques.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548801_0004

AVANT PROPOS

Appartenant à l'Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer et chargé des problèmes de pathologie végétale, nous avons été amené à étudier la Cercosporiose du bananier dès son apparition en Guinée en 1952. Nous avons pu suivre l'extension de cette maladie et préciser la biologie du parasite, ce qui nous a permis de constater des différences très sensibles par rapport aux observations des autres chercheurs concernant cette affection.

Par ailleurs, plusieurs voyages d'étude en différentes régions du monde où sévit cette maladie, nous ont fourni des éléments complémentaires à l'élaboration de cette thèse.

Nous exprimons ici à Monsieur le Professeur VIENNOT BOURGIN notre profonde gratitude pour l'aide qu'il nous a apportée tout au long de notre formation de Pathologiste qui a débuté sous sa direction à l'Ecole Supérieure d'Agriculture de Grignon et aussi pour le soutien constant qu'il a marqué pour nos recherches et la mise au point des résultats acquis.

Nous remercions la Direction de l'Institut Français de Recherches Fruitières Outre mer, de nous avoir fourni les moyens de réaliser ce travail en Afrique, et de nous avoir donné lors de notre retour en France la liberté nécessaire à la longue mise au point de ce mémoire. Nous devons un cordial merci à nos collègues de la Station de KINDIA pour leur aide amicale et notamment à Pierre FROSSARD dont la collaboration nous a été précieuse.

C'est pour nous un agréable devoir d'offrir le témoignage de notre profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur MANGENOT qui a bien voulu présider le jury et à Monsieur le Professeur LEMEE qui nous a proposé le second sujet. Nous tenons à remercier tout particulièrement Monsieur le Professeur CHEVAUGEON qui, très amicalement, a su attirer notre attention sur des points d'importance fondamentale et nous a aidé à donner à cette thèse sa forme définitive.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	1
Chapitre premier.- LE MYCOSPHAERELLA MUSICOLA LEACH ..	7
A) Reproduction asexuée : la forme conidienne .	7
1) Description du <i>Cercospora musae</i> Zimm.	7
2) Position du <i>C. musae</i> par rapport au genre <i>Cercospora</i>	12
B) Reproduction sexuée : la forme ascorporée ..	13
1) Description de <i>Mycosphaerella musicola</i> Leach	13
2) Position du <i>M. musicola</i> par rapport au genre <i>Mycosphaerella</i>	17
C) Spermogonies et spermaties	18
1) Description	18
2) Fonction des spermaties	19
3) Distinction entre périthèces et spermogonies	20
Conclusions au Chapitre I	21
Chapitre II.- LE POLYMORPHISME DU MYCOSPHAERELLA MUSICOLA	23
A) Culture du <i>M. musicola</i> en milieu artificiel ..	24
1) Historique	24
2) Culture du <i>M. musicola</i> à partir d'ascospores	25
B) Etude des variations morphologiques observées en culture	26
1) Fréquence des variations en fonction de l'âge du thalle	27
2) Stabilité des divers phénotypes	29
3) Nature des phénomènes observés	31
Conclusions au Chapitre II	34

	Pages
Chapitre III.- LA DISPERSION DU <i>MYCOSPHAERELLA MUSICOLA</i>	35
A) Libération des ascospores	35
1) Recherche des facteurs déclenchant la libération	36
a) Libération dans les conditions naturelles	36
b) Déclenchement expérimental de la libération	37
c) Conditions d'humidité nécessaires à la libération des ascospores en bananeraie	45
2) Etude expérimentale des facteurs conditionnant la libération des ascospores	48
a) Etude de l'action des précipitations continues sur la libération	48
. Essai I - Temps de pluie nécessaire au déclenchement de la libération	49
. Essai II - Quantité minimale de pluie nécessaire pour déclencher la libération	51
. Essai III - Relation entre la durée de la pluie et la durée de la libération	54
b) Etude de l'action des précipitations discontinues sur la libération	56
. Essai I - Période longue (une semaine) entre deux pluies	57
. Essai II - Libérations obtenues durant 72 heures avec alternance de pluie et de périodes sans pluie	58
. Essai III - Temps maximum de séchage entre deux pluies consécutives	59
c) Discussion générale	60
B) Transport latéral des ascospores	61
1) Etude du transport latéral en bananeraie non contaminée	63
a) Observations en bananeraie	63
b) Démonstration expérimentale du transport létal	64
2) Etude du transport latéral en bananeraie contaminée	66
a) Présence d'ascospores sur le cigare ..	67
b) Démonstration du transport latéral ...	70
3) Discussion	71
Conclusions au Chapitre III	71
Chapitre IV - RELATIONS ENTRE LE PARASITE ET L'HOTE .	73
A) Inoculation	74
1) La germination des ascospores	74
a) Action de la température sur la germination	77

. Etude de la germination sur support artificiel	77
. Etude de la germination sur fragments de feuille	79
. Discussion	85
b) Action de l'état hygrométrique sur la germination	87
. Etude de la germination en atmosphère saturée et dans les conditions variables d'humidité du laboratoire ..	87
. Etude de la germination sous l'effet de divers états hygrométriques	89
c) Action de la lumière sur la germination	90
d) Conclusions	92
2) La pénétration des filaments germinatifs	92
a) Pénétration dans les conditions naturelles	93
. Cigare et jeunes feuilles	93
. Feuilles âgées	95
b) Etude expérimentale des facteurs de la pénétration	99
. Essais préliminaires	99
. Effets de l'état hygrométrique sur la pénétration	100
. Rôle des mouvements stomatiques	103
. Rôle de la lumière	104
Conclusion	104
B) Incubation	105
1) Incubation maximale dans les conditions de la bananeraie	106
a) Relation avec la quantité d'inoculum .	111
b) Relation avec la température	113
c) Relation avec la vitesse de croissance du bananier	113
2) Incubation vraie dans les conditions de la bananeraie	114
a) Relation avec la quantité d'inoculum .	114
b) Relation avec la température	115
. Relevés des températures réelles au niveau du bananier	116
. Différences entre les températures relevées au niveau du limbe et sous abri en différentes saisons	118
Conclusions	121
C) Manifestations de la maladie	121
1) Description des lésions	121
2) Evolution des lésions	124
a) Durée d'évolution de la maladie du stade I au stade V	124
. Intensité de l'infection	127

	Pages
. Facteurs climatiques	128
. Vitesse de croissance du bananier ..	132
b) Durée d'évolution de la maladie stade par stade	132
. Durée d'évolution des lésions en fonction de l'intensité de l'infection	132
. Variations de durée des différents stades au cours de l'année	133
c) Durée d'évolution d'une lésion individuelle	134
. Pourcentage de stries évoluant du stade I au stade V	135
3) Répartition des lésions sur le limbe	137
a) Déroulement de la feuille	138
b) Infection par les conidies	140
c) Infections par les ascospores	140
. Répartition par ascendances verticales	140
. Répartition par transport latéral dû au vent	141
4) Estimation des dommages	141
a) Méthodes d'observations	142
b) Représentation graphique de la maladie	143
. Indice sanitaire moyen	143
. Durée de l'incubation	146
Conclusions au Chapitre IV	147
Chapitre V.- LA LUTTE CONTRE LE PARASITE	151
A) Action des traitements huileux sur le développement du <i>M. musicola</i>	151
1) Les procédés habituels de lutte à l'aide des fongicides	151
2) La lutte à l'aide des traitements huileux	153
a) Observations effectuées en bananeraie	153
b) Effets des traitements huileux sur la libération des ascospores	154
c) Effets des traitements huileux sur la germination des ascospores	154
. Essai I - Au moment du dépôt des ascospores	155
. Essai II - Avant le dépôt	158
. Essai III - Sur des feuilles en place sur les bananiers dans la plantation	159
d) Action des traitements huileux sur la pénétration des filaments germinatifs issus d'ascospores	162
e) Action des traitements huileux sur le développement du parasite durant l'incubation	164

	Pages
f) Action des traitements huileux sur l'évolution des lésions	165
Conclusions	173
B) Etude de la germination et de la pénétration du <i>M. musicola</i> sur des genres autres que les <i>Musa</i> et parmi les clones du genre <i>Musa</i>	174
1) Sur des plantes n'appartenant pas au genre <i>Musa</i>	174
a) Germination	175
b) Pénétration	175
2) Parmi les clones du genre <i>Musa</i>	176
a) Germination	178
b) Pénétration	178
Conclusions au Chapitre V	180
RESUME ET CONCLUSIONS	181

La numérotation est continue pour les figures et pour les photographies. Toutefois les photographies sont reproduites en hors texte.

Les photos des fig. 10 et 52 sont de P. FROSSARD.

Les photos des fig. 16, 17, 42, 43, 44, 45, 46, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 60 sont de M.-A. TISSEAU.

La photo de la fig. 61 est de J. BRUN.

INTRODUCTION

L'économie de nombre de pays tropicaux repose pour l'essentiel sur l'agriculture. C'est le cas de la Guinée où la production bananière contribue pour une part importante au revenu national. Après la dernière guerre, les difficultés inhérentes à toute introduction de cultures nouvelles dans un pays neuf paraissaient surmontées. Aux premiers colons, d'origine européenne, attirés par les conditions de sol et de climat favorables, se joignaient progressivement des agriculteurs guinéens. L'accroissement constant des surfaces consacrées au bananier, l'appui d'un grand institut de recherche spécialisé, l'amélioration des cultures culturales, tout faisait présager une expansion rapide entraînant un doublement de la production en moins de dix ans. De 45.000 t en 1950, le tonnage des bananes exportées avait atteint 75.000 t en 1954 et 84.000 t en 1955. Il représentait alors plus de 40 % en valeur et près de 75 % en poids des exportations agricoles. On espérait vendre à l'extérieur 100.000 t en 1956 : les cargos ne chargèrent que 76.000 t, et 67.000 t seulement l'année suivante. Le poids moyen des régimes décrut de 14,2 kg en 1955 à 13,1 kg en 1958, tandis que le pourcentage des refus à l'embarquement pour défaut de qualité passait de 5 à 7 %. En l'espace de deux ans, le produit des ventes à l'exportation diminua d'un tiers.

Producteurs, économistes et chercheurs s'accordèrent tous pour attribuer la responsabilité de ce coup très sensible porté à l'économie guinéenne à une maladie parasitaire, la Cercosporiose, reconnue depuis longtemps comme particulièrement dommageable dans toute la zone intertropicale, mais dont la présence en Guinée ne fut signalée qu'à la fin de 1952.

Il importait de freiner au plus tôt l'extension du parasite, un champignon, sous peine de voir délaisser en peu d'années une culture sur laquelle la Guinée fondait en partie son développement économique. Déjà de 1955 à 1958, la quantité d'engrais importés, bon reflet de l'intérêt porté par les producteurs au bananier, était tombée de 7.800 t par an à 4.300 t. Les mesures de lutte mises au point dans d'autres contrées furent donc appliquées. Mais des différences apparurent bientôt entre les

conditions de développement de la maladie en Guinée et dans les régions où elle est plus anciennement connue. Elles concernent aussi bien le sol et le climat que l'hôte et son parasite.

L'aire guinéenne du bananier cultivé pour l'exportation est comprise dans un triangle dont les sommets sont représentés par les villes de Ouassou, Benty et Mamou ; sa base est parallèle à la côte atlantique, longue de 150 km, et sa hauteur est à peu près équivalente. Les bananeraies s'échelonnent le long des trois axes de communication Ouassou-Benty, Conakry-Mamou et Forécariah-Kindia, mais on doit distinguer en fait deux zones principales, l'une "côtière", l'autre "intérieure" (Fig. 1).

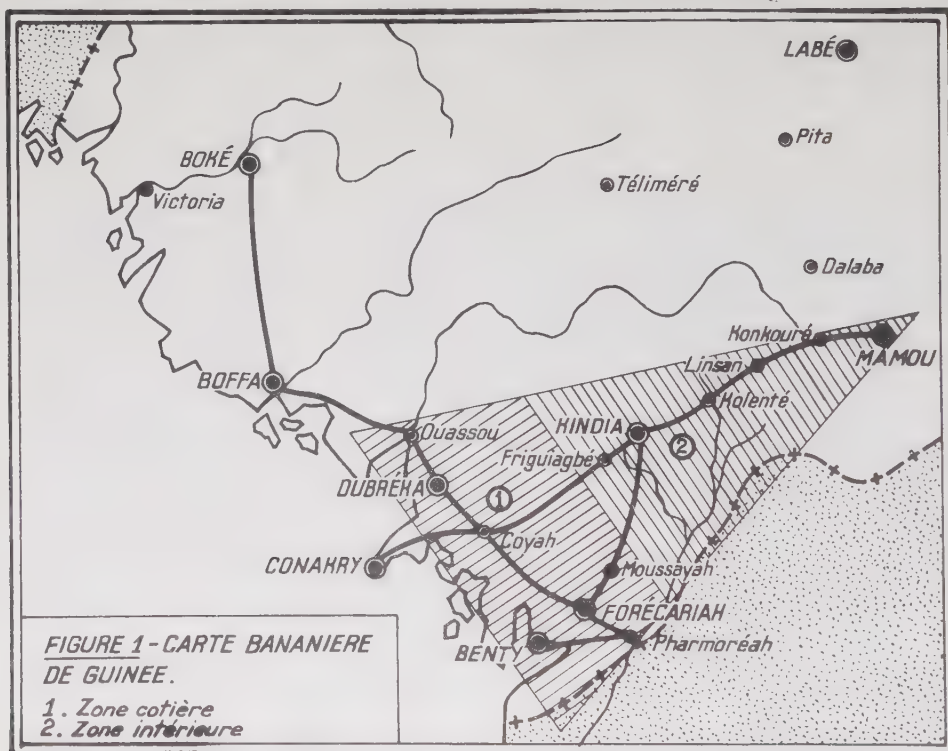


Fig. 1- Carte des zones bananières de Guinée.

Les bananeraies de la zone côtière sont implantées sur une étroite bande de terrain entre l'océan et une ligne de falaises gréseuses parfois distantes de quelques kilomètres seulement. C'est une région de plaines alluviales marines, de formation récente, avec quelques vallonnements d'origines géologiques variées, généralement antécambrienne. Sa liaison avec l'intérieur s'effectue par les deux axes Conakry-Mamou et Forécariah-Kindia.

La zone intérieure est plus différenciée. Autour de Kindia-Friguiagbé, les bananeraies sont établies dans de petites vallées coupées de barrages gréseux qui ont permis la formation d'épandages ; les sols, sablonneux, sont couverts par des peuplements de *Raphia gracilis* Becc. provoquant la création de véritables tourbières ; ils doivent être soigneusement drainés. Autour de Kolenté-Linsan-Mamou, les plantations ont été créées le long de cours d'eau plus importants, en général sur des sols alluvionnaires plus riches que les précédents.

Malgré la diversité de leur genèse, les terrains choisis pour le bananier présentent des caractéristiques communes : teneur en humus souvent considérable (jusqu'à 4 % d'azote) et rapport C/N élevé (parfois supérieur à 18-20), mais forte acidité (pH = 4,5 à pH = 5,5). Leur pauvreté en éléments minéraux (0,2 à 0,5 % de K_2O), l'absence quasi-totale de CaO et de MgO rendent obligatoires les épandages massifs d'engrais. Seule une culture intensive permet l'obtention de rendements rémunérateurs.

Le climat général de la région bananière est du type soudano-guinéen (AUBREVILLE, 1950), mais, ici encore, il faut distinguer entre la côte et l'intérieur du pays.

Le sous-climat guinéen-maritime (AUBREVILLE, loc. cit.) est caractérisé par des pluies très abondantes (4.500 mm à Conakry), mais très inégalement réparties ; il tombe en effet plus de 4.300 mm entre le début de mai et la fin d'octobre (période de la mousson) dont 1.364 mm en juillet et 1.245 mm en août, mais seulement 20 mm entre le début de novembre et la fin d'avril avec un minimum inférieur à 1 mm en janvier-février. Par contre les températures varient peu : les moyennes des maxima sont de 30°,5 C en août à 35°,5 C en février, celles des minima de 17°,2 C en janvier à 20° en avril. L'humidité relative de l'air est toujours forte, même en saison sèche : de 90 % à 8 h elle ne descend pas au-dessous de 48 % à 18 h en février.

Les conditions climatiques qui règnent sur la zone bananière intérieure sont soit franchement guinéo-foutaniennes (Mamou), soit intermédiaires (Kindia) entre celles-ci et celles de la zone côtière. La pluviosité est, dans l'un et l'autre cas, encore élevée (2.175 mm à Kindia et 2.125 mm à Mamou) et les deux saisons, sèche et humide, demeurent bien marquées : il tombe plus de 1.975 mm à Kindia et 1.860 mm à Mamou de début mai à fin octobre, avec des maxima en juillet-août (376 et 518 mm) pour Kindia et en août-septembre (449 et 394 mm) pour Mamou. Un vent sec et froid venant de l'intérieur, l'harmattan, abaisse en décembre-janvier-février les minima moyens aux environs de 15° à 16° C. Les maxima moyens annuels varient de 27° à 35° C à Kindia et de 24° à 33° C à Mamou. L'humidité relative de l'air reste constamment forte la nuit ; à 8 h, elle est toujours d'au moins 90 % à Kindia et rarement inférieure à 80 % à Mamou, mais ses variations diurnes sont plus accentuées qu'au voisinage de la côte : on a noté en février 38 % à Kindia et 20 % à Mamou.

L'ensemble de la région bananière guinéenne est balayée par des tornades aux changements de saison, en avril-mai et octobre-novembre. Ce sont des

chutes de pluies généralement courtes mais abondantes et violentes, accompagnées de rafales de vent qui jouent un très grand rôle dans la dispersion du parasite.

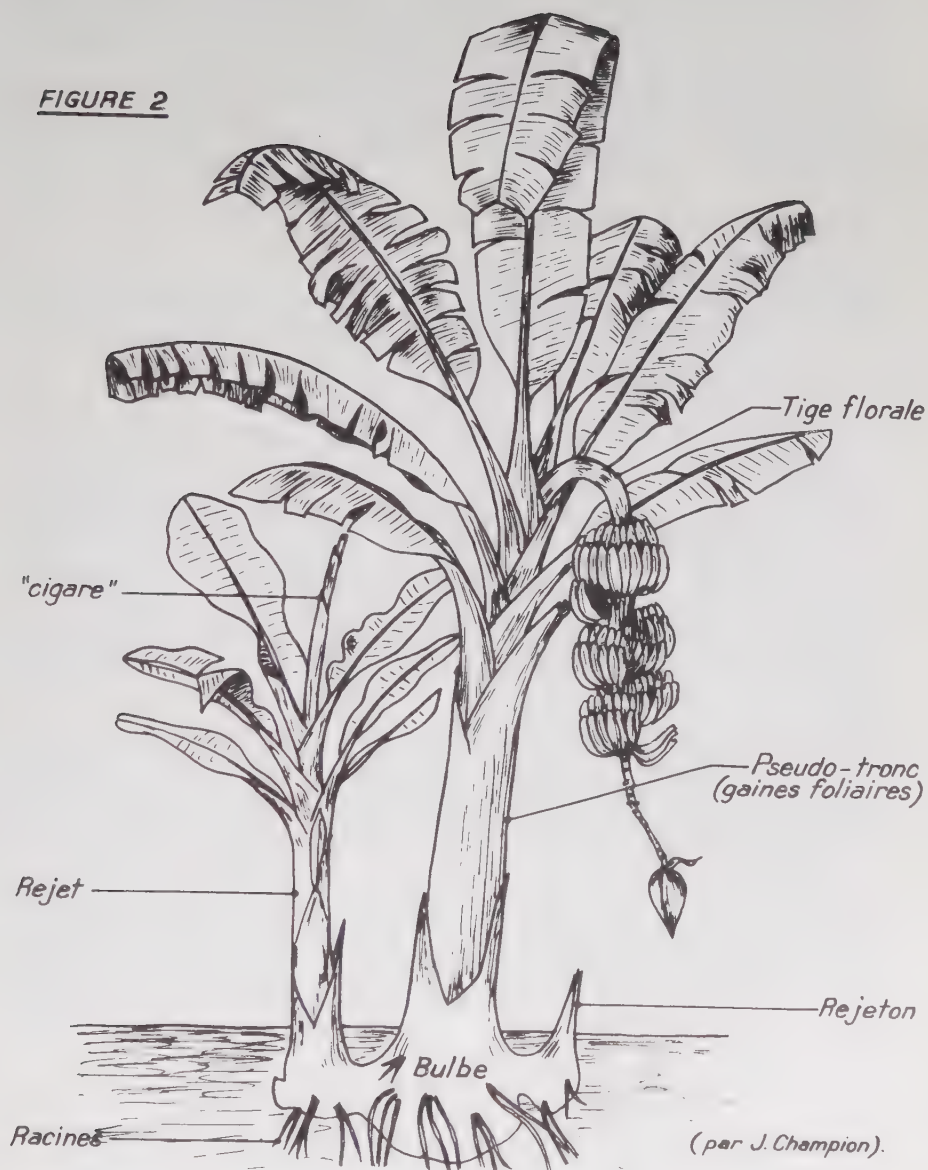
Cette amplitude considérable des variations saisonnières contraste grandement avec l'uniformité des conditions climatiques qui caractérise la plupart des grandes régions bananières.

L'hôte, le bananier, est une herbe géante (Fig. 2), la plus grande du monde végétal. On en cultive principalement deux clones en Guinée : "Nain" et "Poyo" ; ils appartiennent tous deux au sous-groupe Cavendish (SIMMONDS, 1959) alors que le clone "Gros Michel" est mondialement plus cultivé. Leur partie vivace est un rhizome souterrain qui émet, d'une part, des racines sous forme de longs cordons blanchâtres ne présentant des ramifications courtes qu'à leur extrémité et, d'autre part, des bourgeons à partir desquels se développent les organes aériens. Ceux-ci n'ont qu'une existence relativement brève (8 à 15 mois). La base engainante des pétioles constitue un pseudo-tronc qui porte un bouquet d'une quinzaine de feuilles vivantes : après une première période d'émission rapide, celles-ci apparaissent au rythme d'une tous les 10 à 15 jours, mais à la sortie d'une feuille nouvelle correspond alors le dessèchement de la feuille la plus ancienne. L'inflorescence est émise en dernier : le bouton floral est porté depuis le niveau du rhizome jusqu'au milieu du bouquet foliaire par un pédoncule qui peut mesurer plus de dix mètres de haut. Toute croissance à partir du bourgeon cesse après la maturation des fruits, le pseudo-tronc et le feuillage sèchent et meurent. Comme les bananiers cultivés pour leurs fruits sont aspermes, la propagation n'est possible que par multiplication végétative d'un rhizome ou d'un fragment de rhizome portant un bourgeon.

Les divers bourgeons du rhizome se développent successivement. Ils édifient une "touffe" de pseudo-troncs dont les uns portent déjà un régime quand les autres n'ont encore émis qu'une fleur ou n'ont même pas encore déroulé toutes leurs feuilles. Dans les bananeraies guinéennes, on ne laisse se développer simultanément qu'un ou deux jeunes rejets avec le pseudo-tronc portant l'inflorescence. Cette méthode de culture dite "à une tige" ou "à un porteur" est presque particulière à la Guinée.

La qualité du fruit et, par conséquent, sa vente dépendent pour une part très importante de l'état de santé du bananier. L'intégrité du feuillage est, de ce point de vue, un élément primordial. Or la Cercosporiose détruit certains tissus foliaires. La surface de limbe nécrosée à la suite d'une attaque unique n'est que de quelques millimètres carrés ; c'est une maladie locale dont la progression est arrêtée par la plus petite nervure, mais la multiplicité des attaques peut conduire au dessèchement complet de la feuille.

Ces attaques sont le fait soit des ascospores du *Mycosphaerella musae* Leach, soit des conidies de son stade imparfait *Cercospora musae* Zimmerman. Mais alors que les conidies jouent, d'après tous les auteurs, un rôle majeur dans la dispersion de la maladie dans les autres régions bananières,

FIGURE 2

2- Vue schématique d'un bananier à la fructification et de ses rejets.

s ascospores constituent une forme de propagation beaucoup plus importante en Guinée. Si les connaissances acquises sur les premières sont abondantes et généralement précises, les informations concernant les secondes sont très incomplètes et souvent sujettes à critique. C'est pourquoi nous avons entrepris des prospections étendues sur le terrain ainsi que des recherches expérimentales en bananeraie et au laboratoire. Les faits nouveaux, d'ordre scientifique, et celles de leurs conséquences qui peuvent avoir une répercussion économique font l'objet du présent mémoire.

L'exposé de nos travaux comporte cinq chapitres.

Le Chapitre premier porte sur l'étude morphologique et biométrique des différentes formes que présente le parasite au cours de son développement: la forme asexuée *Cercospora musae* Zimm., la forme sexuée *Mycosphaerella musicola* Leach et le stade spermogonie sont successivement traités.

Les variations constatées dans la gravité de la maladie, selon les diverses zones de culture bananière, nous ont conduit à étudier in vitro le déterminisme de ces variations. Ces études font l'objet du Chapitre II.

Le Chapitre III est consacré à l'étude des différents facteurs qui contrôlent la dispersion des ascospores de *M. musicola*. La libération, puis le transport, sont successivement envisagés.

Les phases ultérieures du développement du parasite dans les tissus de l'hôte et l'évolution de la maladie sont étudiées dans le Chapitre IV qui comprend les points suivants : l'inoculation, l'incubation et les manifestations de la maladie.

Les connaissances acquises sur la biologie du champignon ont permis de mieux comprendre l'action des techniques nouvelles à l'aide d'atomisation huileuse dans la lutte contre la Cercosporiose. Cet aspect de la lutte et la notion de spécificité de *M. musicola* vis-à-vis du genre *Musa* constituent le Chapitre V.

Enfin, en conclusion, nous essaierons de montrer quels sont les points où nos recherches, effectuées principalement dans le cadre particulier de la Guinée, peuvent être généralisées.

CHAPITRE PREMIER

LE *MYCOSPHAERELLA MUSICOLA* LEACH

La Cercosporiose du Bananier doit son nom au stade conidien du parasite, stade qui a été le premier observé et décrit sous le nom de *Cercospora musae* Zimm. On sait cependant aujourd'hui que ce mode de reproduction, asexué, n'est pas le seul dont dispose ce champignon. C'est en effet un ascomycète et les caractéristiques de ses périthèces et de ses ascospores l'ont fait inclure dans le genre *Mycosphaerella* : *M. musicola* Leach. On connaît enfin un troisième stade du cycle de cet ascomycète, marqué par la production de spermogonies.

Les ascospores et les conidies sont seules capables, en germant, d'assurer la pénétration du parasite dans les feuilles du bananier. Une fois la pénétration réalisée, les hyphes internes conduisent à la différenciation des trois types d'organes : sporodochies productrices de conidies, spermogonies productrices de spermaties, périthèces libérateurs d'ascospores. La contamination peut être assurée indifféremment par des ascospores ou des conidies.

Signalons tout de suite que les ascospores jouent un rôle majeur en Guinée dans le développement des attaques de Cercosporiose sur le bananier, alors que pour d'autres ascomycètes parasites et chez d'autres hôtes végétaux, leur rôle est souvent plus effacé ou même nul.

A - REPRODUCTION ASEXUÉE : LA FORME CONIDIENNE

1 - DESCRIPTION DE *CERCOSPORA MUSAE* ZIMM.

La première description du *Cercospora musae* fut faite par ZIMMERMAN (1906) d'après des échantillons récoltés à Buitenzorg (Java) en 1902 ; il en a donné la diagnose suivante :

“*Maculis brunnoelis, fusco marginatis, secus folii, costam plerumque dispositis, conidio-
phoris plerumque epiphyllis, rarius et hypophyllis ex stomatibus exsurgentibus, laete brunneis*

conidiis concoloribus, vulgo curvulis 5 - 6 cellularibus $60 - 80 \mu \times 4 \mu$ Hab : in follis Musae sapientum sat frequens, pr. Buitenzorg Java".

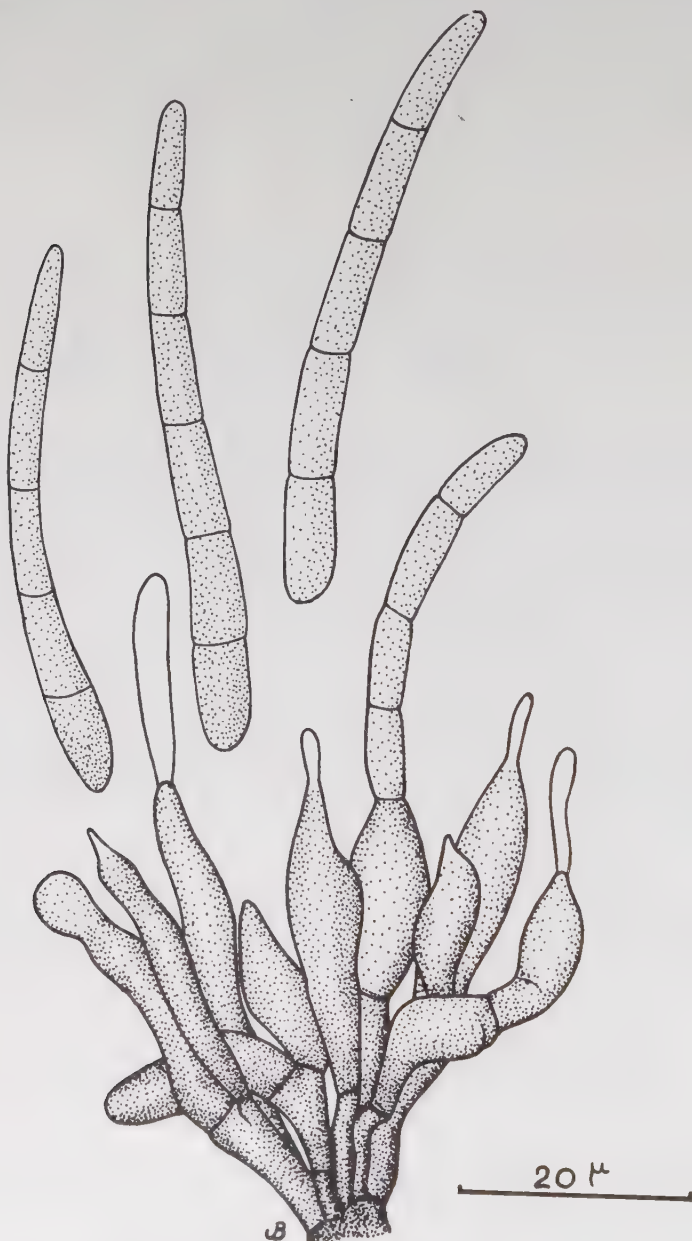


Fig. 3- Conidiophores et conidies de *Cercospora musae* Zimm.

Nous envisagerons plus loin la description de la "nécrose foliaire" ; nous nous bornerons ici à la description du champignon.

Sporodochies.— Les fructifications conidiennes apparaissent à l'œil nu sous forme de petits points noirs répartis de façon anarchique à la surface de la tache. À l'examen microscopique, on note la présence d'une masse filamenteuse stromatique noirâtre, occupant toujours une chambre sous-stomatique. C'est sur ce stroma considéré par LEACH (1946) comme étant un sporodochium que les conidiophores prennent naissance.

TABLEAU 1
Dimensions des conidies en Guinée exprimées en μ

Nombre de cloisons	Longueur moyenne	Largeur moyenne	Nombre de spores	p.cent
SAISON SECHE - FEVRIER				
0	37,5	3,5	17	5
1	34	3,5	16	5
2	35	3,5	24	8
3	39,5	3,5	131	43
4	49	3,6	72	23,5
5	54	3,7	38	12,5
6	58,5	4	6	2,0
7	51,5	5	1	0,5
			305	
SAISON DES PLUFS - JUILLET				
0			0	0
1	41	2,8	7	3,5
2	45,5	2,8	4	2
3	48,5	2,8	32	16
4	44	2,8	41	20,5
5	66	3	84	42
6	70	3	27	13,5
7	72	3	5	2,5
			200	
48 HEURES EN CHAMBRE HUMIDE				
0			0	0
1	19,4	2,9	1	0,5
2	30,7	3	2	1
3	41,3	2,7	7	3,5
4	56,8	2,8	17	8,5
5	64,9	2,8	58	29
6	75,3	3	88	44
7	81,3	2,9	25	12,5
8	86,3	2,9	6	3
9	103,4	2,9	2	1
10	100,9	2,9	1	0,5
			202	

En Guinée nous avons relevé les dimensions extrêmes suivantes : $5-55 \times 17,5-75 \mu$ pour les sporodochies qui se présentent sous forme

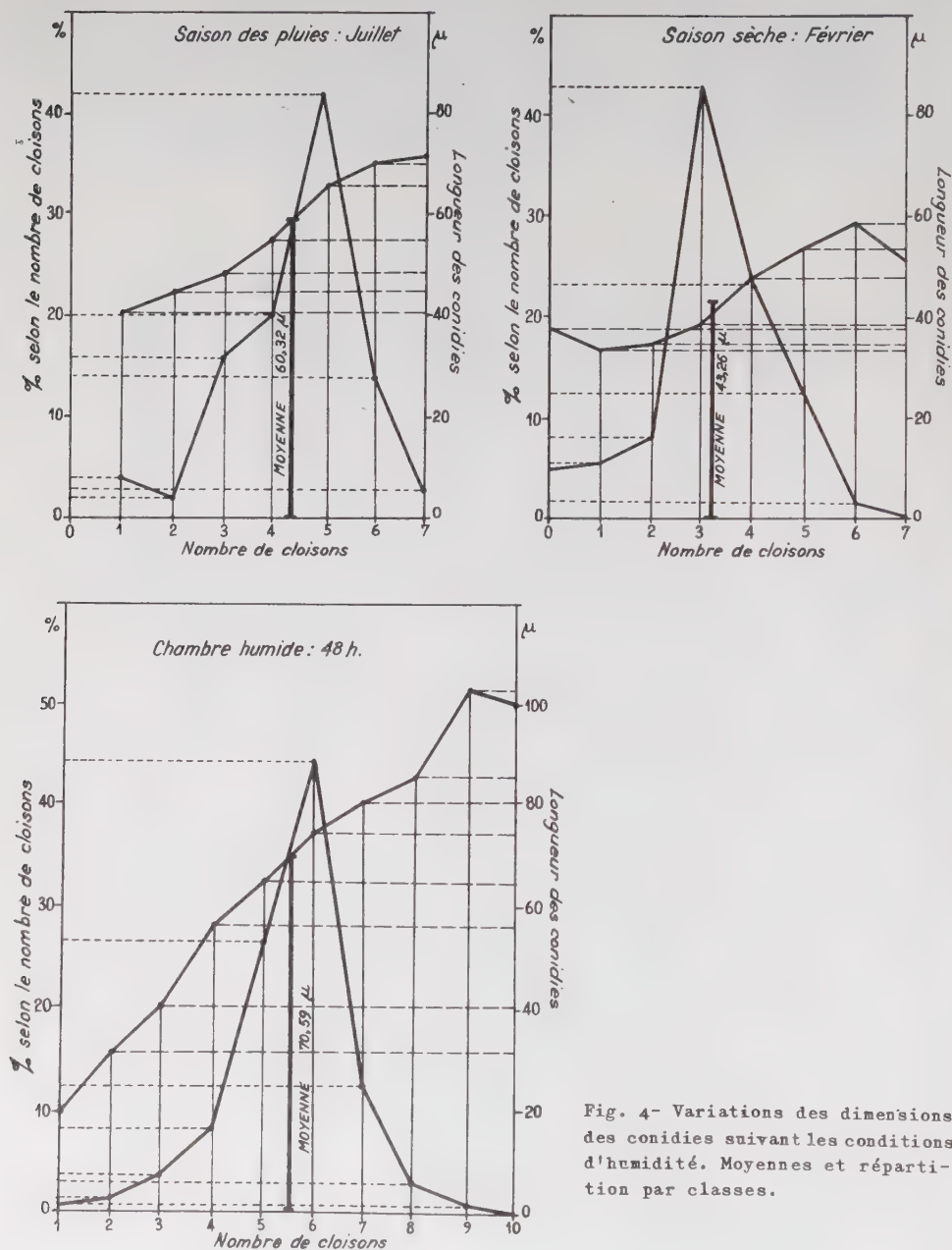


Fig. 4- Variations des dimensions des conidies suivant les conditions d'humidité. Moyennes et répartition par classes.

de rectangles plus ou moins allongés, allant parfois jusqu'à une simple bande étroite. LEACH (loc. cit.) les décrit comme "tabulaires" et mesurant 21 à 60 μ . CHUPP (1953) indique 15 à 35 μ de diamètre.

Conidiophores (Fig. 3).— Les conidiophores qui sortent par l'ostiole du stomate sont groupés en un bouquet dense. Ils sont trapus, courts, plus étroits vers le sommet, rarement septés ou branchus, sans cicatrices nettes aux points d'insertion des conidies et de coloration variable : olive pâle ou brun foncé. En Guinée, nous avons relevé les dimensions suivantes : 10-28 $\times$ 3,5-6 μ , longueur moyenne 18,5 μ . Ces dimensions sont plus importantes que celles observées par BOURIQUET et BATAILLE à Madagascar (1958) : 10-15 $\times$ 5,6 μ , mais correspondent à celles de la diagnose de CHUPP (1953) : 5-25 $\times$ 2-3,5 μ .

Conidies.— Les conidiophores portent à leur sommet des conidies subhyalines à olive pâle, cylindriques-allongées, flexueuses, parfois légèrement renflées à la base ; leurs extrémités sont arrondies, parfois tronconiques, jamais effilées. Nous n'avons pas observé de conidies en chaîne. Les dimensions des conidies sont très variables. Deux raisons au moins permettent d'expliquer ces différences de taille : ce sont, d'une part, la grande variation du nombre des cloisons observées (de 0 à 10), d'autre part l'action des conditions climatiques. Nous avons effectué en Guinée des relevés à différentes saisons et dans des conditions extrêmes

TABLEAU 2

Dimensions des conidies d'après divers auteurs

Auteurs	Origine	Extrêmes en μ	Moyennes en μ	Nombre de cloisons
ZIMMERMANN	Java	60 - 80 $\times$ 4		5 - 6
MASSEE	Fidji	60 - 75 $\times$ 7,8		0 à plusieurs
CAMPBELL	Fidji	23 - 66 $\times$ 2,5	43 $\times$ 3,5	0 - 4
	Queensland	20 - 80 $\times$ 2,6	51 $\times$ 3,7	0 - 6
WARDLAW	Queensland	21 - 80 $\times$ 3,6	49 $\times$ 3,7	
	Malaisie	40 - 81 $\times$ 2,5 - 3,5	59 $\times$ 3	1 - 6
ROGER	Trinidad	33 - 75 $\times$ 2,5 - 5		0 - 3
	Martinique	40 - 56 $\times$ 4 - 5		2 - 5
CHUPP	Origine non précisée	10 - 80 $\times$ 2 - 4 rarement 110 $\times$ 5		3 - 5 ou plus
BOURIQUET et BATAILLE	Guinée	20,5 - 60,5 $\times$ 4 - 5	36 $\times$ 4,5	
	MADAGASCAR			
	Lac Alaotra	24,6 - 73,8 $\times$ 4,1 - 6,15	39 $\times$ 4,6	1 - 6
	Brickaville	26,6 - 65,6 $\times$ 4,1	40,5 $\times$ 4,1	0 - 5
	Vovatenina	28,7 - 61,5 $\times$ 4,1	41,7 $\times$ 4,1	0 - 5
DANTAS	Brésil	37 - 61 $\times$ 3,5		3 - 7
BRUN	Côte d'Ivoire	32,8 - 79 $\times$ 3 - 3,8	54 $\times$ 3,1	2 - 7
	GUINEE :			
	Février	18 - 78 $\times$ 2,8 - 4,8	43,25 $\times$ 3,56	0 - 7
	Juillet	23 - 81 $\times$ 2,13 - 3,4	56,52 $\times$ 2,88	1 - 7
	Chambre humide (48 h)	19 - 110 $\times$ 2,4 - 3,6	72,5 $\times$ 2,94	0 - 10

qui illustrent bien cette action qu'avaient déjà signalée CAMPBELL (1926) et ROGER (1954). Les chiffres indiqués dans le Tableau 1 ainsi que la Fig. 4 montrent bien que les conidies sont plus courtes en saison sèche (moyenne 43 μ) qu'en saison des pluies (moyenne 56 μ), mais aussi que l'humidité favorise l'augmentation du nombre des cloisons. On observe 43 % de conidies présentant 3 cloisons en période sèche contre 42 % en présentant 5 en saison des pluies ; en chambre humide à saturation on dénombre 44 % de conidies à 6 cloisons.

L'influence de la grande variabilité des dimensions des conidies apparaît à la lecture du Tableau 2 qui groupe les mensurations faites par différents auteurs dans diverses régions du globe. Il est très vraisemblable, et nos observations effectuées en Guinée dans des conditions climatiques variées tendent à le prouver, que des dimensions aussi différentes d'un pays à l'autre ne traduisent pas la présence de races géographiques, mais que cette variabilité est un effet de l'action des facteurs externes, notamment de l'humidité.

2 - POSITION DU *C. MUSAE* PAR RAPPORT AU GENRE *CERCOSPORA*

Le genre *Cercospora* fut créé en 1863 par FRESSENIUS pour l'espèce type *C. apii* Fres. Le nom du genre, tiré du grec *kerkos* : queue, caractérise la forme générale des spores qui est d'ailleurs très variable suivant les espèces. Les caractéristiques accordées alors à ce genre, basées sur l'examen de plusieurs espèces, étaient les suivantes :

- Conidiophores.- Biophiles, colorés, géniculés, groupés en fascicules, droits ou courbés avec ou sans cloisons, portant une ou plusieurs spores en même temps et aussi bien latéralement qu'au sommet ;
- Conidies.- Obclaviformes, droites ou courbées, jamais cylindriques, hyalines ou faiblement brunâtres.

Mais FRESSENIUS (1864) inclut lui-même parmi les *Cercospora* des espèces à conidiophores non fasciculés et à spores nettement colorées.

Compte tenu des examens critiques du genre auxquels se sont livrés LIENEMAN (1929) puis CHUPP (1953), il est finalement possible de concevoir que le genre *Cercospora* contient plus de 500 espèces, parasites des parties herbacées, particulièrement des feuilles, se manifestant fréquemment dans leur phase parasitaire par la formation de taches nécrotiques. En général, les conidiophores disposés en faisceau émergent des tissus de l'hôte, souvent par les stomates. Ils sont de couleur brune à fuligineuse. Les conidies prennent naissance isolément. Ce sont des spores hyalines ou brunes, droites ou arquées, non septées au début, plus tard multiseptées. La longueur des spores varie entre 30 et 150 μ , la largeur s'établit entre 3 à 6 μ .

Cercospora musae Zimm., tant par le type de nécrose qu'il provoque sur les feuilles que par les caractéristiques du parasite qu'on observe sur celles-ci, correspond donc parfaitement à la définition actuelle du genre *Cercospora*.

B - REPRODUCTION SEXUÉE : LA FORME ASCOSPORÉE

1 - DESCRIPTION DE *MYCOSPHAERELLA MUSICOLA* LEACH

L'attention des premiers chercheurs qui ont étudié la Cercosporiose du Bananier avait été attirée par la présence, dans les taches foliaires, de structures de nature fongique autres que les fructifications conidiennes du *Cercospora musae*. CAMPBELL les signale dès 1926 et SIMMONDS (1933) cherche à établir un lien entre les ascomycètes présents dans les macules et la forme asexuelle *Cercospora*, mais il n'obtient en culture pure que des structures mycéliennes irrégulières dont il ne peut prouver qu'il s'agit de périthèces immatures. PARHAM (1934) suppose qu'un *Mycosphaerella* est la forme parfaite du *Cercospora musae* mais ne peut le démontrer. STAHEL (1937) isole à partir des taches foliaires un *Leptosphaeria*, un *Hendersonia* et un *Mycosphaerella* qu'il dénomme *M. minima* Stahel. Les

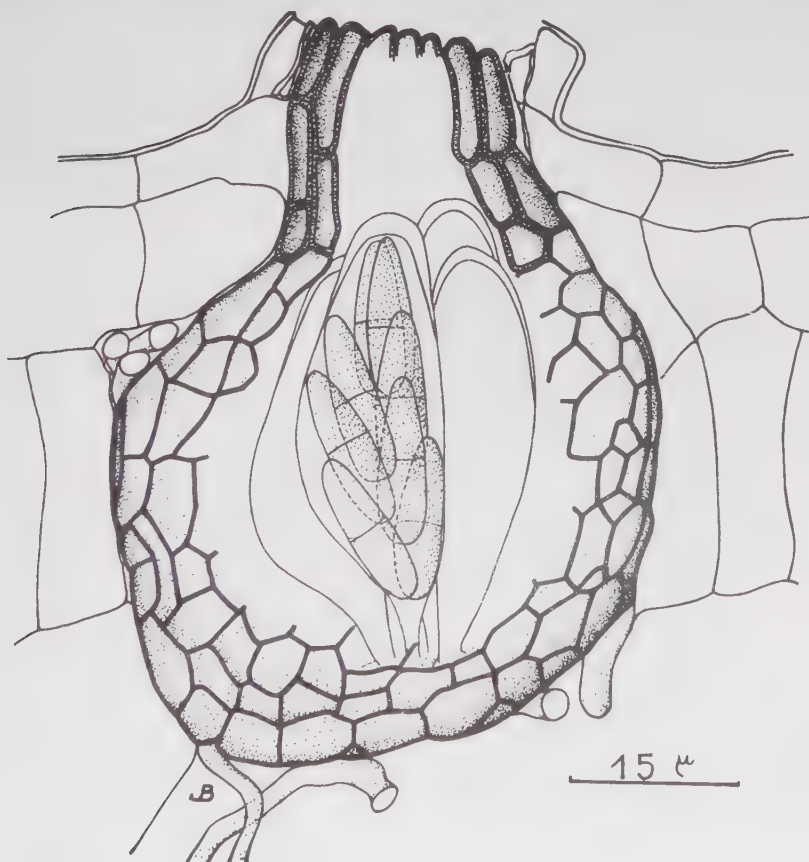


Fig. 5- Coupe dans un périthèce de *Mycosphaerella musicola* Leach. montrant les asques et les ascospores.

différences entre les caractères cultureux du *Mycosphaerella minima* et du *Cercospora musae* sont faibles, mais il ne peut conclure à des relations génétiques entre les deux formes.

C'est LEACH (1941) qui a le premier démontré la présence d'un stade ascospore *Mycosphaerella musicola* Leach relié à la forme conidienne *Cercospora musae*. En dehors de l'intérêt scientifique que présentait cette découverte, nous verrons que la présence de ce stade ascospore allait bouleverser les notions, admises à cette époque, relatives à la biologie du parasite et au développement de la maladie.

La description du *Mycosphaerella musicola* (Fig. 5) faite par LEACH (loc. cit.) est la suivante : Périthèces.- Diamètre 46,8 - 72 μ , moyenne 61,8 μ , brun sombre ou noirs, amphigènes, éparpillés sur les taches foliaires desséchées, court ostiole saillant bien défini. Asques.- Longueur 28,8 à 36 μ , largeur 8 à 10,8 μ , oblongues, claviformes. Ascospores.- Longueur 14,4 à 18 μ , moyenne 16,7 μ , largeur 3 à 4 μ , hyalines, obtuses, ellipsoïdes, une cloison, cellule supérieure légèrement plus large, constriction très peu marquée à la cloison (sauf lorsque les ascospores sont mortes et desséchées par le soleil), présence de globules huileux irréguliers et souvent peu perceptibles ; pas de paraphyses.

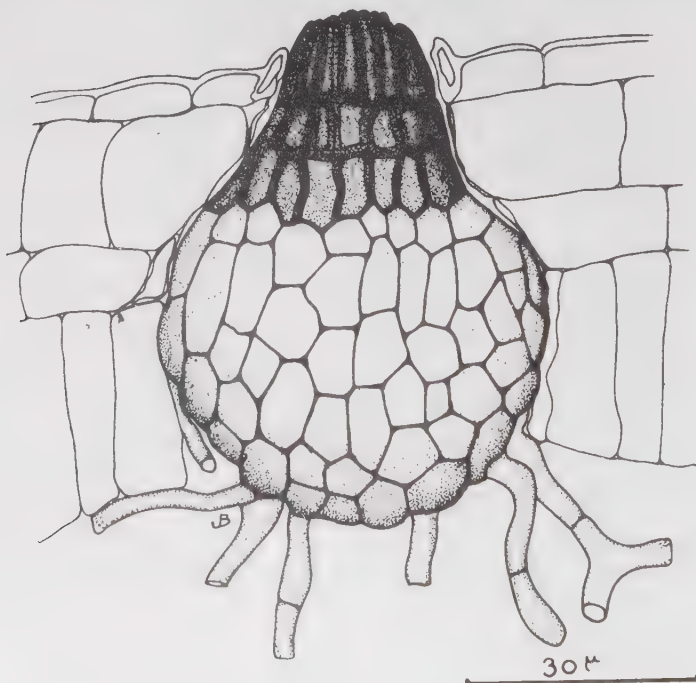


Fig. 6- Vue extérieure d'un périthèce montrant l'épaississement des éléments peri-ostiolaires.

Les observations que nous avons effectuées en Guinée permettent de préciser les données morphologiques relatives aux périthèces et aux ascospores du *Mycosphaerella musicola* :

Périthèces.— Ils ne sont en général pas régulièrement sphériques et présentent un léger allongement suivant l'axe de l'ostiole. Ils mesurent : $51,3 - 86,2 \times 35 - 76,9 \mu$, moyenne $65,3 \times 54,2 \mu$. Les éléments périostiolaires présentent un très net épaississement des membranes (Fig. 6) : nous reviendrons plus loin sur cette particularité. Les périthèces sont répartis sans ordre apparent et plutôt vers le centre de la tache foliaire; toutefois, dans les taches allongées, ils sont disposés eux-mêmes en ligne.

Asques.— La moyenne de nos mesures : $38 \times 11 \mu$, est légèrement supérieure aux dimensions indiquées par LEACH (1941). Nous avons noté la présence de 10 à 27 asques par périthèce. Les asques sont très nettement renflés dans leur partie médiane.

Ascospores.— Toutes nos observations ont été réalisées sur des ascospores recueillies sur lame à la suite de pluies artificielles provoquant leur libération, donc physiologiquement mûres ; nous avons toutefois pris la précaution de les colorer immédiatement au bleu lactique et d'effectuer les mensurations le plus rapidement possible afin de limiter

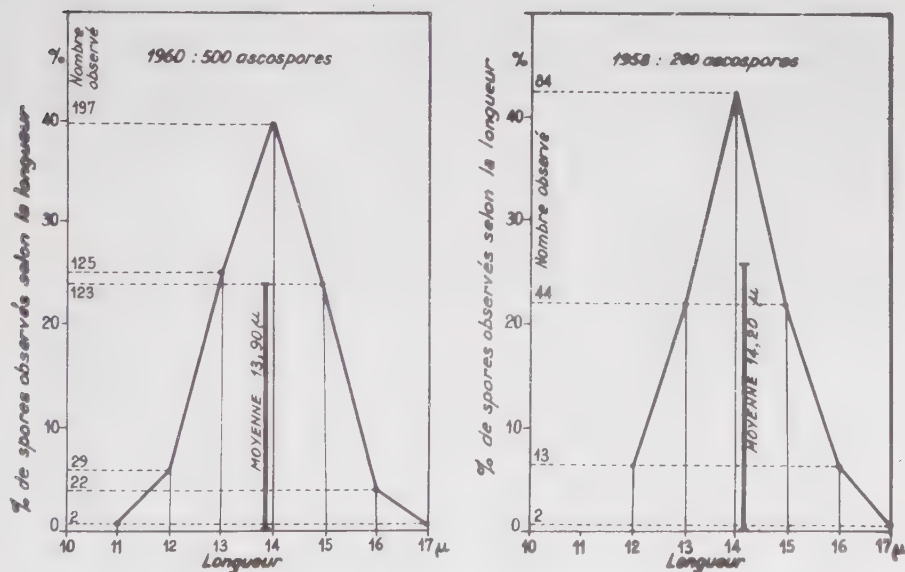


Fig. 7- Longueur des ascospores, répartition par classes.

les effets du gonflement. Nous avons obtenu les chiffres suivants :

	<u>Dimensions extrêmes</u>	<u>Dimensions moyennes</u>
En 1958 sur Poyo (200 ascospores mesurées)	10,1 - 17,2 × 2,8 - 4,8 μ	14,2 × 3,6 μ
En 1960 sur Poyo (500 ascospores mesurées)	10,2 - 17,2 × 2,7 - 4,8 μ	13,9 × 3,6 μ

Ces résultats biométriques montrent une remarquable constance dans les dimensions extrêmes des ascospores (Fig. 7). D'autre part il convient de souligner que les dimensions moyennes des ascospores prélevées en Guinée sont toujours inférieures à celles indiquées par LEACH (1941) (14 μ de longueur contre 16,7 μ). Cette différence se trouve confirmée par l'étude biométrique d'ascospores du *Mycosphaerella musicola* que nous avons réalisée sur différents clones de *Musa* (voir Tableau 3). En effet, les mensurations d'ascospores du *M. musicola* sur dix variétés différentes de bananier, appartenant à des groupes différents, montrent une variation très faible de longueur, de 13,4 à 14,2 μ .

Paraphyses.- Nous n'avons jamais observé de paraphyses.

Anneau ostiolaire.- L'observation, à la loupe binoculaire, des fragments de feuilles décolorées au lactophénol d'Amman, révèle la présence de nombreux conceptacles de taille variable. Nous verrons plus loin comment différencier les périthèces des spermogonies. En ce qui concerne la séparation des périthèces d'espèces différentes, la chose est assez aisée en tenant compte de la présence, pour le *Mycosphaerella musicola*, d'éléments périostiolaires très épais formant un anneau noir dont le diamètre atteint plus de la moitié du diamètre total du conceptacle (voir Tableau 3). Chez

TABLEAU 3

Tableau récapitulatif des dimensions des périthèces, asques et ascospores sur divers clones
(100 mensurations par clone, exprimées en μ)

VARIETE	Périthèces			Asques		Ascospores
	Diamètre	Ø Ostiole ext. int.		Longueur	Largeur	Longueur
Petite Naine	60,2	37,2	13,1	39,5	11,7	13,4
Grande Naine	58,9	38,2	13,1	-	-	13,9
Sérédou	60,6	36,4	12,9	39,9	10,8	14,2
Poyo	58,0	36,8	13,0	36,9	11,0	13,8
Lacatan	55,4	35,6	13,3	39,3	11,1	14,0
Gros Michel	61,9	39,0	13,0	37,6	11,6	13,9
Figue Rose	58,4	36,6	12,5	38,3	10,7	13,9
Figue Sucrée	59,4	33,3	12,7	38,3	11,5	14,0
Sultana	60,8	37,6	12,6	37,4	10,9	13,4
Popoulou Popoulou	57,2	36,1	12,7	39,5	11,4	14,2

les autres espèces du genre ^{*Mycosphaerella*} ~~*Cercospora musae*~~ présentes à l'intérieur des nécroses des feuilles de bananier, cet anneau est inexistant ou limité à une marge peu épaisse ; d'autre part, les autres espèces ~~de~~ présentes sur bananier offrent des caractéristiques biométriques différentes. On observe :

- *M. minima* décrit par STAHEL (1937).— Ses caractéristiques sont les suivantes : périthèces, $25 \times 37 \mu$, moyenne 31μ ; asques : 1 à 2 par périthèce, $24-28 \times 10-12 \mu$; ascospores : hyalines, bicellulaires, $20-22 \times 5,6 \mu$, légère constriction à la cloison ;
- *M. musae* (Speg.) Sydow cité par WARDLAW (1935).— Périthèces, $80-90 \mu$ de diamètre ; asques : obclaviformes, $40 \times 6,8 \mu$; ascospores : $12-13 \mu$, cylindriques à sub-fusoïdes, légèrement rétrécies au niveau de la cloison, loges égales contenant deux petites vacuoles ; pas de paraphyses.

Ces deux espèces se distinguent donc facilement du *Mycosphaerella musicola* Leach. *M. minima* Stahel possède des ascospores plus grandes et des périthèces plus petits ; c'est l'inverse pour le *M. musae* (Speg.) Syd. dont les périthèces sont beaucoup plus gros et les ascospores plus petites.

Indépendamment de LEACH (1941), peu d'auteurs ont reconnu et décrit le *Mycosphaerella musicola*. DANTAS au Brésil (1948) indique des dimensions très voisines de celles de LEACH : périthèces $40-70 \mu$, asques $25-33 \times 7,5-11 \mu$, ascospores $13,2-18,2 \times 3-4,2 \mu$. CALPOUZOS (1955) n'a pas recherché les périthèces in situ dans les feuilles, mais il a mesuré des ascospores en voie de germination sur gélose. Il obtient des dimensions supérieures à celles de LEACH et de DANTAS (loc. cit.) : $18-20 \times 4,5-5,6 \mu$, ce qui s'explique par le fait que les ascospores gonflent très rapidement lors de la germination.

2 - POSITION DU *M. MUSICOLA* PAR RAPPORT AU GENRE *MYCOSPHAERELLA*

Le genre *Mycosphaerella* a été créé en 1884 par JOHANSON (1885) pour *M. polysora* Johans. sur *Azalea procumbens* L. = *Loiseleuria procumbens* Desv.

Parmi les Sphaeriales, les *Mycosphaerellacées* se caractérisent par des périthèces enfoncées dans le substratum, dépourvus de stroma, ou bien posés sur un stroma peu développé : clypeus de couleur sombre ou noire. Le périthèce contient des asques non épaissis au sommet, en disposition fasciculée, non accompagnés de paraphyses. Parmi les *Mycosphaerellacées*, le genre *Mycosphaerella* se différencie par des ascospores hyalines, bicellulaires et un périthèce sans subiculum (LINDAU, 1922).

Ceci correspond parfaitement à la description du *M. musicola* tel que nous l'avons observé.

Dans la classification plus récente de NANNFELD (1932) nous classerions *M. musicola* parmi les Pyrénomycètes ascoloculaires à cause de l'absence de paraphyses vraies et de la présence d'un stade spermogonien qui, d'après CHADEFAUD (1960), peut être considéré comme un caractère archaïque.

C. SPERMOGONIES ET SPERMATIES

1 - DESCRIPTION

C'est SIMMONDS (1933) qui, le premier, a décrit au Queensland les spermogonies et les spermaties ; cet auteur les a observées dans de vieilles taches présentes sur feuilles mortes. Quelques années plus tard,

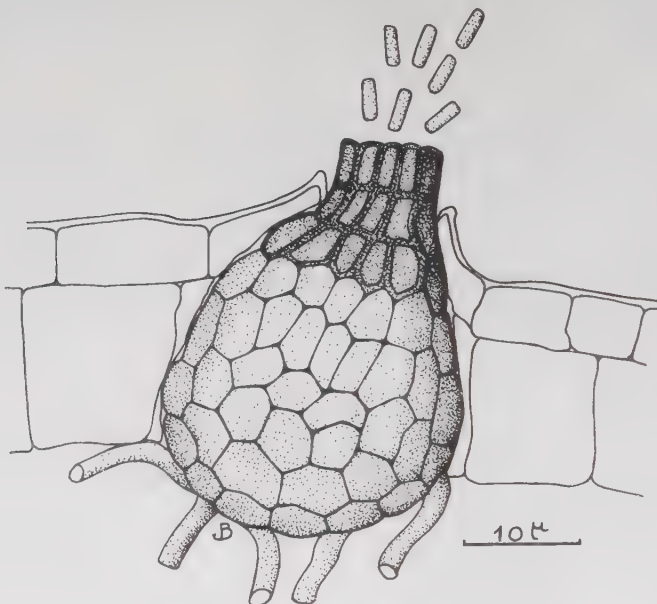


Fig. 8- Spermogonies et Spermaties .

STAHSEL (1937) confirme les observations de SIMMONDS et démontre la relation existant entre les spermogonies et la forme *Cercospora*. LEACH (1941) signale la présence de spermogonies à la Jamaïque. Il démontre l'étroite liaison qui existe entre la présence des périthèces du *M. musicola* et celle des spermogonies et leur répartition relative dans différents types de taches. Il n'apporte aucune donnée nouvelle quant à la biométrie de ce stade, il transcrit simplement les dimensions établies par SIMMONDS.

En Guinée, les spermogonies sont très abondantes, mais, alors que SIMMONDS (loc. cit.) au Queensland les signale sur des feuilles mortes et desséchées, elles apparaissent sur des limbes encore vivants. Nous avons pu observer des spermogonies apparaissant en même temps que les premières sporodochies. Les spermogonies sont toujours situées dans les chambres sous-stomatiques dont elles épousent assez grossièrement les contours, elles prennent naissance dans le stroma conidifère. En coupe, leur forme est assez irrégulière ; elles sont rarement sphériques, souvent légèrement allongées, avec une ouverture fréquemment asymétrique. Leur diamètre en Guinée est, en moyenne, de $32,6 \mu$ et les dimensions extrêmes :

26 et 43 μ . Les parois sont constituées d'éléments polygonaux à membrane brune, plus ou moins isodiamétriques mais étirés au niveau de l'ostiole. Les spermaties mesurent : longueur, 1,8 à 6,3 μ (moyenne 3,7 μ) ; largeur 0,9 μ .

Les dimensions des spermogonies relevées en Guinée sont nettement plus faibles que celles signalées par les auteurs qui ont étudié ailleurs ce stade du champignon. SIMMONDS (loc. cit.) indique en effet 50-77 $\times$ 34-36 μ , moyenne 63 $\times$ 53 μ , pour les spermogonies et 4 $\times$ 1 μ pour les spermaties.

STAHEL (1937) note un diamètre moyen de 50 μ et des spermaties mesurant 3,5-4 $\times$ 0,8 μ .

Nous avons observé en culture sur milieu nutritif la présence de spermogonies à l'intérieur du stroma. Le fait avait déjà été signalé par CALPOUZOS (1955) qui les décrit comme des corps en forme de gourde avec un col très court ; il en donne les dimensions suivantes : spermogonies, 54-80 μ ; spermaties, 3-3,8 $\times$ 0,8 μ .

2 - FONCTION DES SPERMATIES

Le rôle des spermaties chez les *Mycosphaerella* a été bien étudié. Les travaux de HIGGINS (1920, 1929, 1936) sur le *Mycosphaerella bolleana* Hig., le *M. personata* Hig. et le *M. tulipiferae* (Schw.) Hig., ceux de JENKINS (1930, 1938, 1939) sur le *M. arachidicola* Jenk. et le *M. cerasella* Aderh., et ceux de WOLF (1935, 1939, 1943) sur le *M. dubia* Wolf, sur le *M. fraxinicola* (Schw.) House et enfin sur le *M. tecomae* Wolf, ont démontré le rôle joué par les spermaties dans le mécanisme fondamental de fertilisation de l'ascogone. Nous n'avons pas réalisé d'observation de ce type. CALPOUZOS (1955) pense que, chez *M. musicola*, le rôle joué par les spermaties pour l'accomplissement du cycle du champignon est du même type que dans les cas cités plus haut. Nous ferons toutefois une remarque :

TABLEAU 4

Présence des fructifications sur l'ensemble du feuillage

(Comptages effectués sur des fragments prélevés sur les 2 faces du limbe)

N° feuilles	Face inférieure			Face supérieure		
	Nombre de fructifications observées par 10 mm ²			Nombre de fructifications observées par 10 mm ²		
	Périthèces	Spermo- gonies	Sporo- dochies	Périthèces	Spermo- gonies	Sporo- dochies
3	0	490	617	0	27	137
4	3	898	153	2	67	207
5	69	1 262	37	32	244	247
6	95	859	146	6	87	330
7	103	884	5	18	314	151
8	58	852	2	24	226	144
9	285	673	1	78	327	89
10	85	876	59	26	132	263

alors que chez les ascomycètes étudiés par les auteurs cités précédemment il existe un décalage saisonnier, lié aux conditions climatiques, dans l'apparition des diverses formes évolutives, chez le *M. musicola*, qui se développe sur un hôte à croissance continue, la présence des conidies, spermaties et ascospores est quasi-simultanée (voir Tableau 4). Ceci ne peut ni confirmer, ni infirmer le rôle de gamètes mâles attribué hypothétiquement aux spermaties, mais la coexistence des deux stades, conidien et ascospore, interdit d'exclure que la reproduction sexuelle soit déclenchée par un autre mécanisme, par exemple à la suite de la fusion de deux hyphes issues de conidies différentes.

3 - DISTINCTION ENTRE PERITHECES ET SPERMOGONIES

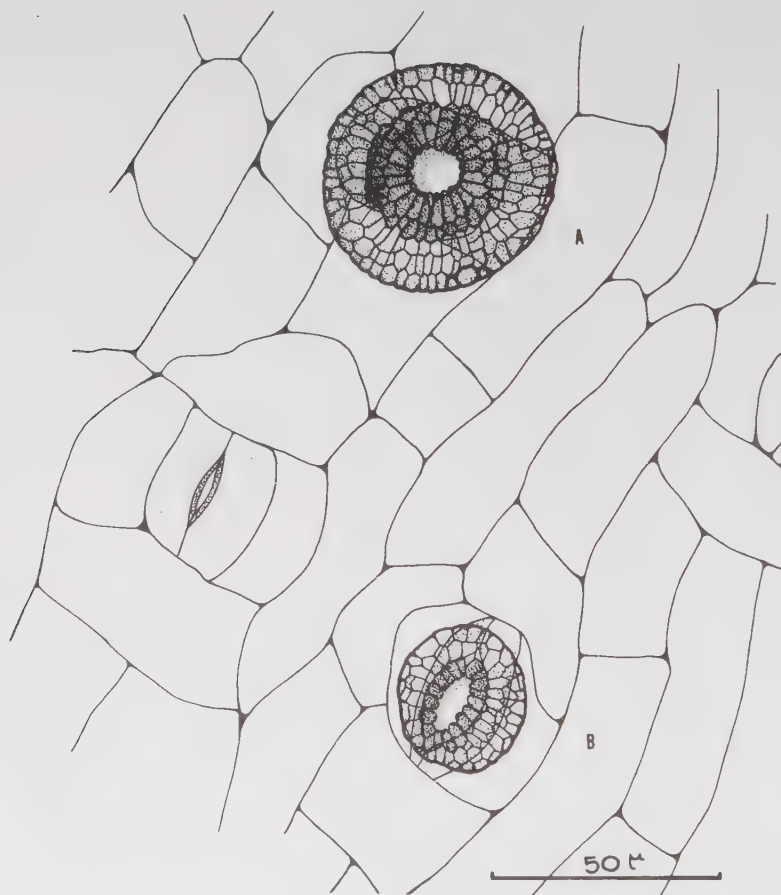


Fig. 9- Comparaison d'un périthèce A et d'une spermogonie B vue en dessus.

Cette distinction, basée sur deux critères principaux, est utilisée lors d'examens de fragments de feuille effectués à la loupe binoculaire.

- La taille des fructifications.- En effet, en Guinée, contrairement aux données de SIMMONDS (1933) pour le Queensland et de STAHEL (1937) pour le Surinam, les spermogonies sont en général plus petites que les périthèces ; nous trouvons un diamètre moyen de $32,6 \mu$ alors que les périthèces mesurent $65,3 \times 54,2 \mu$.
- La forme de l'ostiole.- Alors que, pour les périthèces, l'ostiole est toujours arrondi ou très faiblement ovale, dans le cas des spermogonies l'ouverture est en général nettement allongée. Il semble bien qu'il y ait une déchirure plutôt qu'un véritable ostiole régulier.

CONCLUSIONS

Les observations relatées dans ce chapitre permettent de constater quelques différences dans la biométrie des diverses formes de reproduction du *Mycosphaerella musicola* observées en Guinée. Nous ne pensons pas que ces différences justifient la création d'espèces ou de races nouvelles.

Les variations de dimensions relevées pour le stade conidien sont dues aux variations du milieu et les dimensions plus faibles relevées pour le stade ascospore ne suffisent pas, malgré leur constance, à autoriser la description d'une espèce différente. Avant d'affirmer qu'il existe une "lignée" guinéenne, d'autres observations seraient nécessaires portant notamment sur la virulence des lignées américaines et africaines.

Le fait le plus remarquable réside dans l'observation de la grande fréquence de la forme sexuée et dans la coexistence, sur les mêmes lésions et au même moment, des deux formes sexuée et asexuée.

CHAPITRE II

LE POLYMORPHISME DU *MYCOSPHAERELLA MUSICOLA*

L'importance des dommages provoqués par la Cercosporiose varie considérablement d'une région à l'autre. Dans l'aire d'origine du bananier, l'Indo-Malaisie, où il ne fait l'objet que de petites cultures dispersées, il semble bien qu'un équilibre se soit établi entre le parasite et son hôte à l'avantage de ce dernier : les dégâts sont faibles. Dans la zone américaine la maladie est au contraire très grave. Cette différence peut relever de causes multiples. Il est fréquent que l'introduction d'une plante nouvelle et son exploitation sur de grandes surfaces la rendent particulièrement sensible, tant aux parasites locaux qu'à des parasites récemment introduits, ce qui est le cas dans cette région où la Cercosporiose était inconnue. Aux changements des modalités de la culture s'ajoutent des modifications des conditions de milieu qui, en dehors de toute variation de l'hôte et du parasite, suffisent pour expliquer les différences constatées entre la région d'origine et la région d'introduction.

Lorsqu'on constate des différences semblables entre deux régions géographiquement proches, telles la Guinée et la Côte d'Ivoire, où l'on a introduit presque simultanément les mêmes variétés de bananier et où on les cultive avec des méthodes voisines sur des surfaces comparables, force est de réduire la part des hypothèses explicatives qui font appel aux facteurs agronomiques et d'attribuer, toujours en l'absence de variations des organismes en présence, un plus grand rôle aux facteurs édaphiques ou climatiques.

Mais lorsque la maladie est présente pendant de nombreuses années dans une même région sans y provoquer de pertes appréciables, puis s'y révèle brutalement très dangereuse, comme c'est le cas au Cameroun actuellement, il est permis de supposer que l'un ou l'autre des deux protagonistes, ou les deux simultanément, ont varié. Dans le cas présent, le bananier cultivé est asperme et nécessairement multiplié par voie végétative, ce qui ne peut manquer de réduire ses possibilités de variation spontanée. Celles-ci ne sont cependant pas nulles et l'on connaît quelques exemples d'apparition de clones nouveaux, dont la fréquence est de l'ordre de

celle de mutations. La lenteur du renouvellement des plantations interdit toutefois d'attribuer une explosion brutale de la maladie à un changement de la sensibilité de l'hôte. Par contre, le parasite présente un cycle incomparablement plus court qui comporte à la fois une reproduction sexuée et une reproduction asexuée très probablement à la phase haploïde ; des croisements sont donc possibles et toute variation peut s'exprimer immédiatement.

Toutefois, aucune de nos observations personnelles dans les bananeraies d'Afrique (Guinée, Côte d'Ivoire, Cameroun), d'Amérique (Equateur) ou des Antilles n'indique que de telles variations du *Mycosphaerella musicola* sont effectivement intervenues au cours des quinze dernières années. Les symptômes de la maladie, la morphologie et la biologie du parasite se sont toujours montrés parfaitement constants, une fois éliminées les fluctuations liées à l'action immédiate et réversible du milieu. Tester cette hypothèse nous a donc conduit à rechercher si certaines caractéristiques du parasite difficilement appréciables, mais apparemment stables dans les conditions naturelles, ne se révéleraient pas plus aisément observables et variables dans les conditions du laboratoire.

A - CULTURES DE *MYCOSPHAERELLA MUSICOLA* EN MILIEU ARTIFICIEL

1 - HISTORIQUE

Le problème technique à résoudre au préalable, isoler le parasite en culture pure et l'y maintenir en croissance assez longtemps pour qu'il accomplisse son cycle, n'était pas nouveau. Dès 1926, CAMPBELL a cultivé le *Cercospora musae* sur différents substrats, mais sans obtenir sa fructification. SIMMONDS (1933) et STAHEL (1937) ne réussissent pas mieux. Il faut attendre, pour observer des conidies, MEREDITH et BUTLER (1939), qui utilisent un bouillon de feuilles de bananier gélosé : des conidies sont produites dès que les thalles sont visibles à l'œil nu, le 4ème jour, mais la sporulation cesse le 9ème jour. DANTAS (1948) obtient quelque résultat en ajoutant 1 % d'extrait de viande ou 5 % d'extrait de jeune feuille de bananier à un bouillon d'avoine glucosé, saccharosé et peptoné qui, seul, conduit à une masse mycélienne abondante mais stérile.

Parallèlement à cette recherche empirique d'un milieu nutritif favorable, des tentatives empiriques se sont multipliées pour maintenir par sélection un taux de sporulation convenable. FERNANDEZ (1953) y parvint en utilisant pour le repiquage des fragments de mycélium porteurs de conidies, mais la production de ces spores asexuelles n'était ni suivie ni abondante. CALPOUZOS (1954), observant que dans toute culture, qui se présente sous l'aspect d'une mosaïque de plages de coloration et de structure différentes, il existe des secteurs porteurs de conidies, repique exclusivement ces secteurs et obtient ainsi plus ou moins tôt des cultures dont toute la surface est recouverte de conidies du *Cercospora musae*.

Restait à obtenir des périthèces et des ascospores du *M. musicola* sur un substrat artificiel. Aucun auteur n'y est jusqu'ici parvenu. Tout au plus a-t-on constaté, dans ces conditions, la formation d'ébauches de conceptacles à l'intérieur du stroma mycélien ou à sa surface. SIMMONDS

(1933), par exemple, note la présence d'organes noirs, formés d'une couche d'hyphes étroitement enlacées entourant une masse centrale de cellules hyalines. DANTAS (1948) observe des corpuscules qu'il considère comme étant des spermogonies. CALPOUZOS (1955) obtient effectivement des spermogonies en culture pure.

A notre connaissance, la présence dans des cultures de périthèces et d'ascospores de *Mycosphaerella* dont le stade conidien est un *Cercospora* n'a été signalée que par MILLER (1953), qui a obtenu des ascospores du *M. arachidicola* Jenk., mais cet auteur ne décrit pas la technique utilisée. En 1953 SORGEL réussit à produire les périthèces du *Mycosphaerella pinodes* (Berk. et Blox.) Stone sur une décoction de gousses de pois, mais il s'agit d'un *Mycosphaerella* dont le stade conidien est un *Ascochyta*.

2 - CULTURE DU *M. MUSICOLA* A PARTIR D'ASCOSPORES

Notre objectif étant très précisément de savoir si le *Mycosphaerella musicola* présent en Guinée est une population d'individus homogène ou hétérogène, stable ou susceptible de varier, nous n'avons pas repris les travaux des auteurs qui ont étudié le développement de ce champignon sur des milieux différents, mais simplement utilisé systématiquement pour nos cultures le bouillon de pomme de terre glucosé et gélosé qui répondait parfaitement à notre propos. Le matériel semé sur ce substrat a toujours été constitué d'ascospores obtenues de la façon suivante.

Des fragments de feuilles contenant des périthèces sont soumis à une pluie artificielle (voir p. 43) puis placés au-dessus de boîtes de Pétri contenant de la gélose ; on enlève les fragments de feuilles au bout de 30 minutes ; les boîtes sont alors placées en étuve à 25° C. Après 24 heures on observe la surface des boîtes à l'aide d'une loupe binoculaire. Il est facile de distinguer les ascospores du *M. musicola* des autres spores présentes sur la gélose. Cette distinction s'effectue à l'aide de deux critères :

- La faible croissance des filaments germinatifs (100 μ environ en 24 heures),
- La forme des filaments germinatifs qui se développent de façon rectiligne et s'orientent dans le sens du grand axe de l'ascospore.

Les ascospores du *M. musicola* sont prélevées et repiquées en tube ou sur boîte ; il est facile de faire des cultures monoascosporées ou au contraire d'associer plusieurs ascospores d'origines différentes.

Les jeunes thalles sont visibles au bout de quatre à cinq jours. Ce sont des ponctuations noirâtres dont la croissance ultérieure est lente et irrégulière ; l'addition de biotine ou d'aneurine est sans effet. Ils s'étendent à la fois dans la profondeur de la gélose nutritive et en surface, et plus au centre que sur les bords. Ceci conduit à un stroma dense, résistant, tourmenté, d'aspect cérébelleux dont les replis sont tapissés d'hyphes libres. Son extension n'est pas indéfinie ; la croissance, dans ces conditions, cesse au bout de quatre semaines environ ; le diamètre est alors de 15 mm en moyenne.

Après une quinzaine de jours de croissance, on note à l'intérieur du stroma la présence de spermogonies fonctionnelles contenant des spermatis, mais alors que CALPOUZOS (1955) signale pour ces spermogonies des dimensions assez fixes, nous avons observé une grande variabilité dans leurs dimensions : de 10 à 50 μ environ de diamètre. La présence de corpuscules que CALPOUZOS (loc. cit.) considère comme des ébauches de périthèces a également été relevée. Là encore il existe de grandes différences dans la biométrie et, contrairement à cet auteur, nous ne pensons pas qu'il soit possible de différencier en culture les spermogonies des périthèces immatures en se référant à leurs diamètres.

La présence des ébauches de conceptacles n'est pas plus fréquente à l'intérieur de cultures provenant de conidies que de cultures issues d'ascospores. Le fait d'utiliser des cultures mono ou pluri-ascosporées ne permet pas non plus de faire varier le nombre des conceptacles.

CALPOUZOS (1955) ayant émis l'hypothèse que les périthèces ne pouvaient se former parce que la spermatisation était impossible à l'intérieur du stroma, nous avons réalisé des cultures que nous avons recouvertes d'eau afin de favoriser la spermatisation ; là non plus nous n'avons obtenu aucun résultat. Nous n'avons pas non plus obtenu de périthèces mûrs en faisant varier la température et l'éclairement.

Les thalles nés d'ascospores sont morphologiquement identiques à ceux obtenus à partir de conidies et tous semblables les uns aux autres pendant les deux premières semaines de culture. Ils sont uniformément vert olive et veloutés. Leur étude anatomique les révèle constitués, au début, de grosses hyphes brunâtres, à cloisons nombreuses, issues directement des filaments germinatifs de la spore. Ce premier mycélium émet des diverticules latéraux hyalins, de plus faible diamètre, à cloisons plus rares. Le tout s'enchevêtre en un stroma dense, les conidiophores semblent se différencier à partir des seules hyphes de gros diamètre. Quelques conidies sont visibles dès le sixième jour, mais après une dizaine de jours il est difficile de les observer dans l'ensemble extrêmement touffu que forment les cultures à ce stade de leur développement.

Au bout de quinze jours à trois semaines, il apparaît, dans ces thalles d'aspect homogène, des secteurs gris puis des plages roses qui deviennent progressivement plus importantes et le thalle tout entier finit par apparaître rose. La partie superficielle est alors constituée entièrement de longs filaments présentant à leur extrémité un aspect buissonnant résultant de la croissance de nombreux rameaux latéraux.

B. ÉTUDES DES VARIATIONS MORPHOLOGIQUES OBSERVÉES EN CULTURE

Les changements d'aspect des cultures correspondent-ils à ces variations génotypiques héréditaires dont nous avons été amené à soupçonner l'intervention pour expliquer l'accroissement brutal de l'importance des dégâts dus à la Cercosporiose, mais que nous n'avons pas pu déceler dans les conditions naturelles? Ou bien s'agit-il d'une suite de différenciations phénotypiques marquant les étapes normales du développement de cet organisme in vitro, mais n'entraînant pas de modifications stables du génome?

Avant de répondre à ces questions, nous nous sommes efforcé de préciser si ces modifications morphologiques constituaient ou non une succession ordonnée d'états cellulaires. Dans ce but nous avons tenté d'isoler des fragments mycéliens correspondant à un seul de ces états, puis suivi l'évolution des thalles formés à partir de ce matériel homogène.

1 - FRÉQUENCE DES VARIATIONS EN FONCTION DE L'ÂGE DU THALLE

Des thalles, d'âge croissant, ont été soumis à un broyage ménagé de façon à les dissocier ; puis des groupes d'articles, de la plus petite taille compatible avec une bonne probabilité de survie, ont été semés sur bouillon de pomme de terre glucosé et gélosé. L'aspect des cultures-filles a été observé au bout d'une semaine.

Toutes les observations ont été effectuées sur près de 200 lignées cellulaires obtenues chacune par germination d'une seule ascospore. Les clones ainsi constitués ne font l'objet que d'une seule analyse, après 10, 15, 45 ou 75 jours. Les résultats sont représentés schématiquement sur la Fig. 11. Ils varient considérablement selon le délai écoulé depuis la germination des spores.

a) Thalles âgés de 10 jours ou moins

A ce moment, toutes les cultures originelles sont uniformément vert olive. Toutes les cultures-filles présentent le même aspect après une semaine de croissance (phénotype originel, *O*) : les cultures se présentent sous forme de petits mamelons vert olive. A la surface du stroma le mycélium est relativement abondant et constitué de nombreux filaments dressés, courts, faiblement divisés ; on observe quelques conidies éparses.

b) Thalles âgés de 15 jours

Rien ne permet de distinguer ces thalles âgés de 15 jours des plus jeunes. Cependant parmi une majorité de cultures-filles du type originel, on observe quelques thalles roses (phénotype *R*) et d'autres, plus rares, de diverses nuances de gris (phénotype *G*), parfois d'un gris brillant par la présence d'un grand nombre de conidies (phénotype *S*).

Les thalles âgés de deux semaines ne conduisent pas tous à toute la gamme de ces phénotypes et dans une proportion constante, mais tous ont cessé d'être constitués d'articles possédant les mêmes potentialités qu'à l'origine.

Ces phénotypes nouveaux peuvent être ainsi caractérisés :

Type sporulant *S*. - Ses caractères cultureux sont assez proches de *O*, mais la coloration générale est grise à noirâtre ; les cultures présentent un aspect brillant qui est dû à la présence de très nombreuses conidies réfringentes. Les filaments aériens dressés sont souvent moins nombreux que dans le type *O*. Les thalles issus d'une culture sporulante sont en général d'un diamètre plus faible.



Fig. 11.- Schéma des variations morphologiques en fonction de l'âge du thalle.

Type rose R.— L'aspect de la culture est profondément modifié par rapport au type originel, on a l'impression de thalles ayant une origine absolument différente. La coloration est rose pâle très pur, l'aspect mameloné disparaît sous une épaisse couche d'hyphe abondamment ramifiées, dont les extrémités présentent un aspect buissonnant. On observe un véritable feutrage mycélien qui ne laisse plus rien apparaître du stroma sous-jacent. Dans de telles cultures nous n'avons jamais observé de conidies.

Il existe de nombreux autres types qui se différencient soit par leur coloration "type gris", soit par l'abondance plus ou moins grande du mycélium aérien se développant sur le stroma.

Types gris G.— Nous n'avons pas étudié tous les types observés ; ils se caractérisent par leur coloration grise, l'aspect moins dense du mycélium aérien que dans le cas de R, et des filaments plus longs et plus fins.

Type stromatique Str. - On note parfois l'apparition de cultures chez lesquelles les mamelons ne présentent pas (ou très peu) de mycélium aérien ; la coloration de ces thalles est noirâtre.

c) Thalles âgés de 45 jours

Ces thalles ont perdu leur uniformité morphologique. Des plages roses, des secteurs de différents gris se mêlent au mycélium vert olive originel. Leur dissociation et la multiplication végétative de petits groupes d'articles conduisent encore à quelques thalles du type originel vert olive, à quelques thalles G et S, mais le phénotype R est largement prédominant.

d) Thalles âgés de 75 jours

Ces thalles ont alors pris une teinte rose homogène. Leurs thalles-fils sont pour la plupart roses, les autres s'identifient aux divers phénotypes déjà observés, mais le type originel est exceptionnel.

Les mêmes observations ont été faites sur des thalles nés de conidies. Les résultats sont identiques : à un phénotype originel commun à toutes les cultures succèdent des phénotypes intermédiaires d'aspects variés et un phénotype terminal rose, mais l'hétérogénéité des thalles peut être décelée par l'isolement et la mise en culture de petits groupes d'articles avant qu'elle ne soit rendue manifeste par un changement macroscopique.

2 - STABILITÉ DES DIVERS PHENOTYPES

L'expérience précédente révèle une apparente discordance entre le comportement du *M. musicola* dans les conditions naturelles et au laboratoire. L'uniformité des jeunes thalles obtenus par germination d'ascospores ou de conidies produites par le champignon vivant en parasite sur le bananier tend à faire conclure à sa parfaite stabilité. La succession régulière de phénotypes constatée au cours de sa croissance sur un milieu nutritif artificiel tend au contraire à faire conclure à l'instabilité des caractéristiques de cet organisme. Mais dans le premier cas, l'origine de la lignée cellulaire réside toujours dans une cellule reproductrice sexuelle ou asexuelle, alors que dans le second cas ce sont toujours des cellules végétatives qui servent de point de départ aux nouvelles sous-lignées. Ceci n'est pas sans analogie avec le phénomène décrit par JINKS (1959) chez *Aspergillus glaucus* : l'entretien d'une lignée cellulaire par multiplication végétative conduit à des phénotypes différents de celui qu'on observe par semis d'ascospores ; il démontre qu'il s'agit d'un phénomène d'hérédité non chromosomique. Il est donc possible que les changements morphologiques constatés au laboratoire ne correspondent qu'à des différenciations subies par les éléments du thalle au cours de son développement normal et qui ne seraient pas transmises par les cellules reproductrices. Dans cette hypothèse il devrait être possible soit d'interdire, soit d'accélérer la succession de ces phases du développement et le retour à la phase juvénile devrait être régulièrement obtenu par l'intermédiaire des spores.

a) Phénotype originel

Le phénotype vert olive peut être indéfiniment conservé par multiplication végétative, avec toutes ses caractéristiques, si les repiquages de mycélium sont effectués à intervalle d'une semaine. Par contre, si le délai entre deux transferts est supérieur à dix jours, d'autres phénotypes apparaissent et les individus de type *O* sont d'autant plus rares que le délai entre deux bouturages est plus long.

Il est aisé de détacher de leur conidiophore les conidies produites par les thalles *O* en faisant rouler des gouttelettes d'eau stérile ou de solution nutritive à leur surface. Si cette opération est effectuée sur des cultures âgées d'une semaine, les individus-fils présentent tous, et indéfiniment, le type *O*. Avec des cultures de 15 jours ou plus, on observe, dans 2 % des cas, l'apparition de thalles *S*.

b) Phénotypes intermédiaires

Les premières multiplications végétatives de courts fragments de filaments prélevés dans un thalle de l'un des phénotypes intermédiaires conduisent toujours à une majorité de cultures de ce type, mais on observe également parmi les thalles obtenus quelques rares autres phénotypes soit intermédiaires, soit originel *O*, soit terminal *R*. Il est possible d'obtenir une descendance qui présente uniquement un type intermédiaire déterminé, en exerçant un choix parmi les semis obtenus à partir d'articles issus de ce type. On parvient ainsi à des souches qui conservent le phénotype intermédiaire considéré, alors que chez les témoins maintenus en croissance continue, sans aucun repiquage depuis la germination des ascospores, le phénotype *R* se substitue toujours à lui. La possibilité d'un retour de l'un quelconque des phénotypes intermédiaires au type originel en utilisant des conidies issues de ces cultures ne peut être testée. D'une part, elles ne montrent pas de conidiophores fonctionnels à l'examen microscopique et, d'autre part, on peut toujours en isoler quelques éléments de phénotype *O* dont on sait qu'ils sont faiblement sporulants.

c) Phénotypes terminaux

Si aucune intervention extérieure ne vient influencer sur le cours du développement d'un thalle né d'une conidie ou d'une ascospore recueillie en bananeraie, ce développement s'achève normalement par l'établissement du phénotype rose.

Si on le dissocie alors en fragments courts, l'examen des cultures-filles montre qu'il était constitué d'une majorité d'articles de phénotypes *R* et de quelques rares articles de phénotypes *O* et intermédiaires (*G*, *Str*,). Cet état se révèle parfaitement stable par multiplication végétative et des clones *R* homogènes sont conservés au laboratoire, sans précaution spéciale, depuis plus d'un an.

Si la culture est entretenue non plus par semis d'hyphes végétatives mais par semis de spores asexuelles issues de cultures âgées de plus de 10 jours, nous avons vu que, dans un nombre relativement élevé de cas, le phénotype *S* se substitue au phénotype *O*. Ces thalles *S* sont aussi parfaitement stables que les thalles *R*. Ils sont probablement analogues aux thalles fortement sporulants obtenus par CALPOUZOS (1955) en repiquant sélectivement les secteurs producteurs de conidies qui apparaissent dans ses cultures. Leur obtention par semis monoconidiens est plus aisée et plus rapide que par ce dernier procédé qui exige de minutieuses observations à la loupe binoculaire ; elle permet d'obtenir d'emblée une culture *S* alors que CALPOUZOS (loc. cit.) ne parvient que progressivement à des cultures sporulantes homogènes.

Ce phénotype terminal *S* n'est pas seulement stable in vitro. L'inoculation d'une feuille de bananier avec une suspension de spores *S* montre que les souches de *M. musicola* de ce phénotype sont pathogènes et les conidies récoltées aux dernières phases de la nécrose conduisent d'emblée à des cultures *S* lorsqu'on les sème sur bouillon de pomme de terre glucosé.

3 - NATURE DES PHÉNOMÈNES OBSERVÉS

Peut-on considérer que les variations morphologiques du *M. musicola*, en culture in vitro, traduisent les changements survenus au niveau du matériel nucléaire tels que des mutations géniques ou des accidents chromosomiques ? Plusieurs arguments peuvent être proposés en faveur de ce type d'hypothèse :

- L'apparition des phénotypes intermédiaires ou terminaux est brutale si on l'observe à l'échelle cellulaire par isolement d'articles et peut s'expliquer par des variations chromosomiques.
- La stabilité au cours de la division mitotique des états cellulaires correspondant à chacun des phénotypes autres que *O* vient renforcer cette idée. Le retour au type originel, parfois constaté à l'occasion de repiquages d'articles isolés, peut correspondre à la variation inverse.
- Les états cellulaires, qui s'accompagnent de la production de conidies, sont conservés au cours de la reproduction asexuelle. Dans les conditions naturelles de la bananeraie, l'état cellulaire *O* est, autant qu'on en puisse juger à la suite de milliers d'isolements de conidies, parfaitement stable. Mais si l'on introduit des spores asexuelles *S* dans une bananeraie, l'état cellulaire correspondant est également transmis par les conidies.

Sur un substrat artificiel, l'état *O* est stable si l'on prend la précaution d'effectuer des repiquages fréquents de conidies. L'apparition d'articles mycéliens ou de spores *S* dans ces conditions peut être le résultat d'une variation chromosomique. Quant au phénotype *S* il est toujours transmis par les conidies.

- La possibilité de séparer plusieurs types d'articles mycéliens au sein d'un thalle de morphologie uniforme et l'apparition de plages ou de

secteurs après plusieurs semaines de croissance continue se comprennent bien si les cultures sont devenues hétérocaryotiques. Il devrait cependant s'agir d'une hétérocaryose particulière. En effet, la technique que nous avons utilisée pour interrompre cette hétérocaryose éventuelle ne permet d'isoler que des groupes d'articles. Or la structure cellulaire n'est qu'exceptionnellement réalisée chez ce champignon ; ses filaments sont habituellement constitués d'articles pourvus d'un nombre variable et généralement élevé de noyaux. S'il existe bien plusieurs sortes de noyaux dans un thalle, la facilité avec laquelle nous séparons au moins certains d'entre eux ne se conçoit que si ces noyaux différents ne coexistent pas fréquemment dans un groupe d'articles.

Cette ségrégation nucléaire au sein d'une culture n'est pas improbable. Nous avons vu apparaître des plages et des secteurs au sein des clones homocaryotes à l'origine. Nous avons d'autre part toujours échoué dans nos tentatives pour obtenir des articles mixtes. En effet, en mêlant des broyats de culture du phénotype *S* avec des broyats de culture de phénotype *R* ou *O*, on n'observe jamais dans l'évolution des cultures-filles, ni mosaïque, ni dominance du type *R* sur *S* ou *O* sur *S* : les colonies restent indépendantes. D'autre part, alors qu'en micro-culture dans une chambre à huile les filaments appartenant aux souches *O*, *R* ou *S* contractent de nombreuses anastomoses avec leurs homologues, nous n'avons jamais observé d'anastomoses spontanées ni réussi à en provoquer entre filaments de souches différentes. Par conséquent, s'il apparaît un nouveau type nucléaire au sein d'un thalle jusque là homocaryote, il doit tendre à s'isoler du type originel et risque peu d'être éliminé si la variation est défavorable.

Cependant, certains faits précédemment exposés rentrent difficilement dans le cadre d'une hypothèse mutationnelle et s'expliquent mieux par des changements survenus au niveau du cytoplasme qu'au niveau du noyau :

- Il n'y a pas de variations cellulaires moins de 7 jours après la germination des spores et si l'on entretient un clone *O* par multiplication végétative de mycélium ou par semis de conidies, il conserve indéfiniment ce phénotype. On comprendrait mal comment des variations chromosomiques seraient empêchées d'intervenir avant un temps de croissance déterminé, et cela indéfiniment, si la lignée cellulaire est constamment rajeunie par bouturage. Il faudrait supposer que l'expression du changement intervenu au niveau nucléaire puisse être indéfiniment retardée. Par contre, il a été démontré que l'apparition de modifications d'origine cytoplasmique ne pouvait se produire qu'après un laps de temps déterminé (CHEVAUGEON, 1962) ;
- La fréquence des variations croît avec l'âge des cultures et elle continue de croître lorsqu'au-delà de quatre semaines, l'extension radiale a cessé et sans doute aussi à peu près totalement les divisions nucléaires ;
- La fréquence des variations est très élevée. Elle a pu être chiffrée à 2 % des conidies produites par les cultures *O*. Il est plus difficile de l'apprécier pour les variations autres que *S*, qui s'accompagnent de la disparition des spores et ne peuvent être décelées au niveau

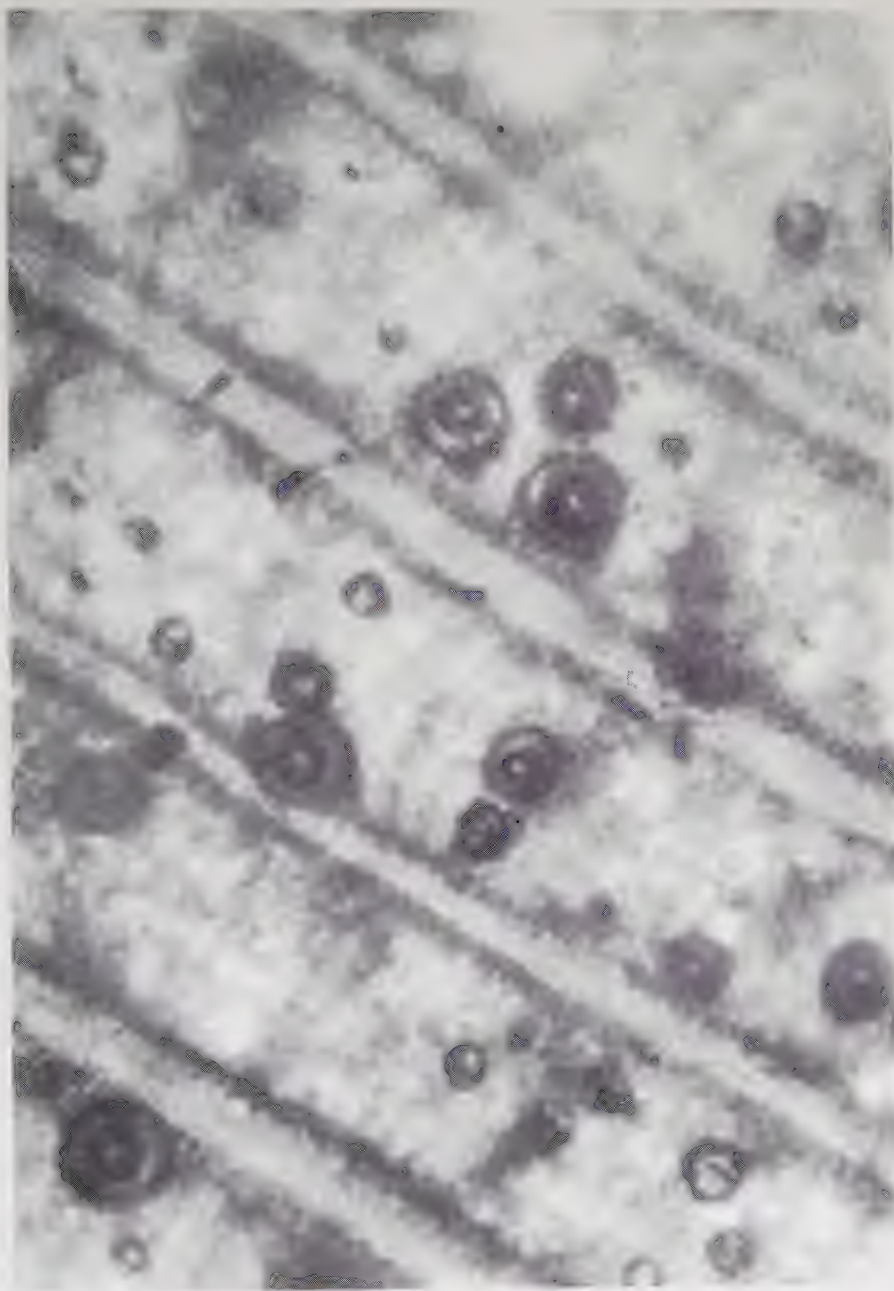


Fig.10 - Périthèces et spermatogonies vus à la loupe binoculaire.

Fig.17 - Détail d'un d
On voit très nettemen
thèces maintenus entr

cellulaire que par semis de petits fragments mycéliens, mais elle est si considérable qu'aucun thalle né d'une ascospore ne demeure formé uniquement d'articles *O* pendant plus de dix jours.

- Ce sont toujours les mêmes phénotypes qui sont observés et, dans les conditions de la bananeraie, c'est toujours le phénotype *O* qui est manifesté par le mycélium né directement de la germination des ascospores et des conidies. Or si le substrat offert au parasite par les feuilles du bananier ne permet pas à un thalle d'atteindre une dimension comparable à celle qu'autorise le bouillon de pomme de terre, il n'en reste pas moins que le parasite s'y maintient en croissance active pendant 15 jours au moins et dans certains cas 8 à 10 semaines, temps largement supérieur à celui qui est nécessaire pour la manifestation in vitro des variations. Ces faits nous ramènent aux observations de CHEVAUGEON et DIGBEU (1960) qui ont montré que la modification extra-chromosomique du *P. annulata* n'était jamais transmise par les conidies et que leur germination conduisait toujours à la phase mycélienne juvénile ;
- Les variations qui se succèdent au cours de la croissance d'un thalle s'orientent toutes vers un type final déterminé (*R*) si le cours des variations n'est pas interrompu par le bouturage de fragments d'hyphe. On pourrait toutefois objecter qu'à mesure que se poursuit la croissance sur un même support nutritif, le milieu change progressivement dans un sens déterminé et que les changements du milieu exerçant une pression sélective sur les divers états cellulaires favorisent l'état *R*. Mais cette pression du milieu, si elle existe réellement, est évidemment d'abord subie par le cytoplasme et secondairement seulement par le matériel nucléaire.

Les divers arguments que nous venons d'exposer ne permettent pas de trancher avec certitude. Il ne nous est pas plus possible d'affirmer que nous sommes en présence de variations chromosomiques que d'écarter l'idée que nous avons à faire à des cas d'hérédité non chromosomique. Mais ils mettent bien en évidence quel type d'expérience doit être entrepris pour comprendre la nature de ces variations : des précisions ne pourront être obtenues qu'à condition de pouvoir diriger la reproduction sexuelle entre des lignées cellulaires différentes.

Effectuer un tel essai in vitro semble difficile ; nous avons vu qu'à ce jour on n'a jamais observé la présence de périthèces de *M. musicola* en culture. Par contre, l'obtention in vivo de périthèces sur une feuille de bananier ne présente aucune difficulté. Seules des raisons techniques se sont opposées à cette réalisation. Il est en effet nécessaire d'envisager de tels essais hors de l'aire normale de développement du parasite, et de bénéficier d'installations permettant la culture du bananier dans des conditions bien contrôlées. Nous n'avons pas pu réunir ces conditions à ce jour.

CONCLUSIONS

Les observations que nous venons de décrire ne nous ont pas permis de définir à quelle modalité génétique on peut rattacher les variations observées in vitro dans les cultures du *M. musicola*, mais un fait est certain, c'est que ce parasite est susceptible de présenter des variations importantes. Le fait que la biométrie ne nous permette pas de conclure de façon formelle à la présence de nouvelles races ou de nouvelles lignées ne doit pas exclure la notion de variabilité du *M. musicola* dans les conditions naturelles, quels que soient le ou les mécanismes de variation mis en jeu.

CHAPITRE III

LA DISPERSION DU *MYCOSPHAERELLA MUSICOLA*

Le cycle évolutif d'un parasite comporte deux périodes bien distinctes : la dispersion, l'établissement et le développement des relations avec l'hôte. La dispersion s'effectue en deux étapes successives : la libération des organes de propagation, leur transport. Nous les examinerons dans cet ordre.

A - LIBÉRATION DES ASCOSPORES.

Il a été démontré que les conidies ne peuvent être détachées qu'à leur complète maturité et uniquement par l'eau (LEACH, 1946 ; CALPOUZOS, 1955). Ce problème étant considéré comme bien connu nous ne l'avons pas envisagé.

Le mécanisme de la libération des ascospores n'a jamais été étudié en ce qui concerne le *M. musicola*. On peut, par analogie, rapprocher le *M. musicola* des *Mycosphaerella* en général. On considère habituellement qu'ils présentent des asques bitunikés avec un appareil apical sans anneau, mais souvent garni d'une nasse apicale plus ou moins distincte. Leur déhiscence est du type "Jack in box" (CHADEFAUD, 1960) : l'asque reste attaché au stroma basal, mais la membrane extérieure se rompt à l'apex ; cette membrane relativement dure et rigide disparaissant, l'asque absorbe une quantité d'eau élevée ce qui a pour résultat son élongation rapide, son passage à travers la papille et la libération des ascospores.

Nous n'avons pas étudié ce mécanisme, mais les observations effectuées nous permettent de constater deux faits :

- Il n'y a pas de projection à proprement parler : si l'on place une lamelle au-dessus d'un fragment de feuille contenant des périthèces libérant leurs ascospores, il est nécessaire d'arriver au contact de la feuille pour recueillir celles-ci. C'est pourquoi nous utiliserons le terme de libération et non celui de projection qu'à la suite de cette observation nous considérons comme inexact ;

- Il est très rare d'observer sur les lames les ascospores groupées par 8 ou par multiple de 8, quoique l'étude anatomique révèle toujours 8 ascospores à l'intérieur de l'asque. Ce fait s'explique si l'on admet que les ascospores d'un même asque ne sortent certainement pas dans une enveloppe commune ; elles sont indépendantes les unes des autres dès leur libération.

1 - RECHERCHE DES FACTEURS DECLENCHANT LA LIBERATION.

Peu de travaux ont été effectués sur les différents facteurs qui déclenchent la libération des ascospores du *M. musicola*. Les chercheurs qui ont étudié ces problèmes l'ont fait de façon globale. LEACH (1946) écrit que les périodes où les infections par les ascospores atteignent leur maximum sont étroitement en relation avec celles de fortes pluies tandis qu'une diminution brutale de l'infection par les ascospores est fréquemment associée à l'arrêt des pluies, quoique celui-ci coïncide fréquemment avec un abaissement de température pendant les mois d'hiver. Il apparaît donc que la pluie favorise la dissémination active des ascospores, même plus que les fortes rosées.

Plus récemment PRICE (1960), au Cameroun, s'est occupé de ces problèmes et il conclut à l'action nécessaire de deux facteurs : pluie et insolation pour déclencher la libération des ascospores. FULTON (1962) considère que la pluie, et non la température, représente le facteur prédominant au Honduras.

Nous avons cherché à préciser l'effet des précipitations naturelles sur la libération des ascospores.

a) Libération dans les conditions naturelles

Pour apprécier la quantité d'ascospores libérées à la suite d'une pluie, nous disposons d'une technique qui consiste à observer les ascospores par examen direct d'un fragment de jeune feuille sous le microscope. Les ascospores, même non germées, adhèrent solidement au limbe, ce qui permet de les colorer par trempage du fragment de feuille dans le bleu coton lactique. Il est aisé de distinguer les ascospores transportées au cours de la nuit de celles déjà en place qui ont commencé leur germination.

Ces observations ont été effectuées durant plusieurs années. Les résultats sont groupés dans le Tableau 5 qui indique la quantité d'ascospores observées au centimètre carré. Ils portent sur des fragments de limbe situés au sommet et à droite d'un jeune cigare récoltés le matin à 8 heures ; 3 répétitions ont été effectuées pour chacune des dates envisagées. Les pluies qui sont indiquées représentent les précipitations relevées dans la journée précédente.

Les chiffres proviennent d'observations effectuées dans une bananeraie très contaminée qui n'a pas été traitée durant plusieurs années. Ils peuvent donc être considérés comme très supérieurs à la moyenne.

TABLEAU 5
Quantités d'ascospores observées
sur le feuillage durant l'année

1958			1960		
Dates	Pluies (mm)	Ascospores observées	Dates	Pluies (mm)	Ascospores observées
17/1	27	128 - 92 - 76	14/1	0	32 - 11 - 9
18/2	0	0 - 0 - 0	15/2	0	0 - 0 - 0
15/3	0	0 - 0 - 0	17/3	0	0 - 0 - 0
11/4	6,5	3 - 0 - 0	19/4	23,9	19 - 16 - 8
17/5	26	112 - 91 - 104	25/5	24,0	34 - 27 - 11
16/6	35,8	108 - 32 - 147	17/6	23,9	91 - 102 - 74
20/8	54,9	6 - 3 - 11	15/7	27,6	29 - 78 - 111
19/9	35,1	42 - 39 - 22	16/8	8	32 - 11 - 29
15/10	26,5	103 - 188 - 76	24/9	43	112 - 91 - 108
17/11	28,8	134 - 122 - 18	3/10	20	155 - 37 - 78
13/12	0,4	117 - 111 - 196	9/11	6,6	45 - 35 - 11

Les résultats obtenus montrent des différences très importantes selon la période de l'année. Toutefois, le fait le plus marquant est qu'il n'y a pratiquement pas d'ascospores libérées en saison sèche et que, par contre, les récoltes les plus abondantes sont toujours effectuées le jour qui suit des précipitations importantes. Les faibles récoltes effectuées en août, période particulièrement pluvieuse, s'expliquent par le fait que durant ce mois les pluies journalières très abondantes provoquent une libération quasi-continue des ascospores.

Le fait d'observation que nous venons de relater : influence des pluies sur la production des ascospores, nous amène à étudier expérimentalement les facteurs de la libération des ascospores.

b) Déclenchement expérimental de la libération

Au début de nos travaux, la nécessité de nous procurer des ascospores en grande quantité, jointe à l'impossibilité de les obtenir en culture *in vitro*, nous a conduit à utiliser empiriquement l'effet des pluies sur leur libération à partir des périthèces présents dans les feuilles. Nous prélevions des fragments de limbe que nous laissions sécher 24 heures à l'air libre si le temps était pluvieux, puis nous les soumettions à une pluie artificielle. Les ascospores libérées étaient recueillies sur le support désiré, lames de verre ou feuille de bananier.

Nous avons voulu préciser le mécanisme de cette libération et pour atteindre ce but nous avons analysé les points suivants :

La localisation des périthèces

La répartition des périthèces sur les limbes peut être décelée à l'aspect des taches. Elle dépend de l'âge des feuilles, de la coalescence

des nécroses sur la feuille et de la période de la récolte.

MM Aspect des taches

L'examen sous le microscope montre que l'on peut observer des périthèces dans la plupart des lésions de Cercosporiose parvenues à leur stade ultime. Cependant, dans le cas de taches isolées, ils sont relativement rares alors qu'ils sont abondants dans les zones nécrotiques provoquées par la présence de nombreuses lésions (cas d'attaques très graves). Les zones les plus propices sont celles représentées par des taches nécrotiques où l'on observe de nombreuses petites stries linéaires sans halo. Dans de telles zones le nombre de périthèces est souvent aussi important ou plus important que celui des sporodochies.

MM Age des feuilles

La quantité d'ascospores libérées à partir d'un fragment de feuille est fonction de la position de la feuille sur le bananier. La position de la feuille contenant le plus de périthèces varie au cours de l'année.

En récoltant des ascospores à partir de zones nécrotiques prélevées sur chacune des feuilles, on peut établir quelles sont les premières et les dernières feuilles où existent des périthèces fonctionnels et celles où la libération d'ascospores est maximale. Le Tableau 6 résume de telles observations effectuées durant trois années.

TABLEAU 6
Quantités d'ascospores récoltées en fonction
de l'âge de la feuille

Mois	Premières feuilles	Feuilles où l'émission est à son maximum	Dernières feuilles
Janv.	4 et 5	6 et 7	11
Fév.	5 et 6	7	12
Mars	6 et 7	9 et 10	13
Avril	10	-	18
Mai	8 - 9	10	17
Juin	7	8 et 9	14
Juil.	4 - 5	8 et 9	13
Août	3 - 4	6 et 7	11
Sept.	4 - 5	"	10
Oct.	4 - 5	6	12
Nov.	4	5 et 6	11
Déc.	4	6 et 7	12

Dans la colonne 2 est indiqué le rang des feuilles les plus jeunes contenant des périthèces fonctionnels (la numérotation des feuilles a

lieu à partir de la première feuille déroulée) ; la colonne 3 indique les feuilles où l'émission d'ascospores est à son maximum ; la colonne 4 le rang des feuilles où l'on décèle les derniers périthèces fonctionnels.

Les feuilles les plus âgées sont des feuilles complètement desséchées, pendant le long du pseudo-tronc. En saison sèche, de telles feuilles se conservent très longtemps, tandis qu'en saison des pluies elles sont rapidement détruites par de nombreux organismes saprophytes, ce qui explique qu'en mars-avril on fasse des observations sur 17 ou 18 feuilles et seulement sur 10 ou 11 en août-septembre. Cependant, il est fréquent que des fragments de feuilles sèches pendant le long du pseudo-tronc, soumis à des pluies artificielles, ne permettent pas d'observer la libération d'ascospores.

La principale conclusion que l'on puisse tirer de ces observations est que, en saison où la libération des ascospores est abondante, les feuilles qui contiennent le plus grand nombre de périthèces fonctionnels sont des feuilles encore vivantes et seulement partiellement desséchées. Dans les très vieilles feuilles le nombre de périthèces fonctionnels diminue.

En dehors de l'intérêt qu'il présente au point de vue du choix des échantillons de tissus destinés à nous procurer des ascospores, ce point est très important car il permet de réfuter la thèse généralement admise : que les périthèces susceptibles de libérer des ascospores se rencontrent surtout à l'intérieur des tissus des vieilles feuilles desséchées.

~~XX~~ Position des nécroses sur la feuille

Nous avons vu, à la suite d'observations microscopiques, que les périthèces étaient surtout fréquents dans les zones nécrotiques provoquées par la coalescence de nombreuses lésions : de telles zones se rencontrent surtout au sommet et sur les bords du limbe.

Les observations microscopiques nécessitent un traitement préalable pour éclaircir les tissus et présentent l'inconvénient d'être très longues à exécuter ; aussi avons-nous remplacé cette méthode par celle du comptage des ascospores libérées, récoltées sur une surface déterminée. Les résultats obtenus (voir Fig. 12) montrent bien qu'il existe une étroite relation entre le nombre d'ascospores récoltées et la répartition des périthèces sur la feuille telle qu'elle a été observée sous le microscope. Les zones les plus riches en périthèces sont, d'après le nombre des ascospores récoltées, situées au sommet et sur les bords du limbe dans la zone apicale. Il s'agit là de moyennes car on observe souvent des périthèces dans d'autres parties de la feuille partout où des nécroses résultant d'attaques sévères se manifestent, mais la localisation de telles zones en dehors de la région du sommet est beaucoup plus rare.

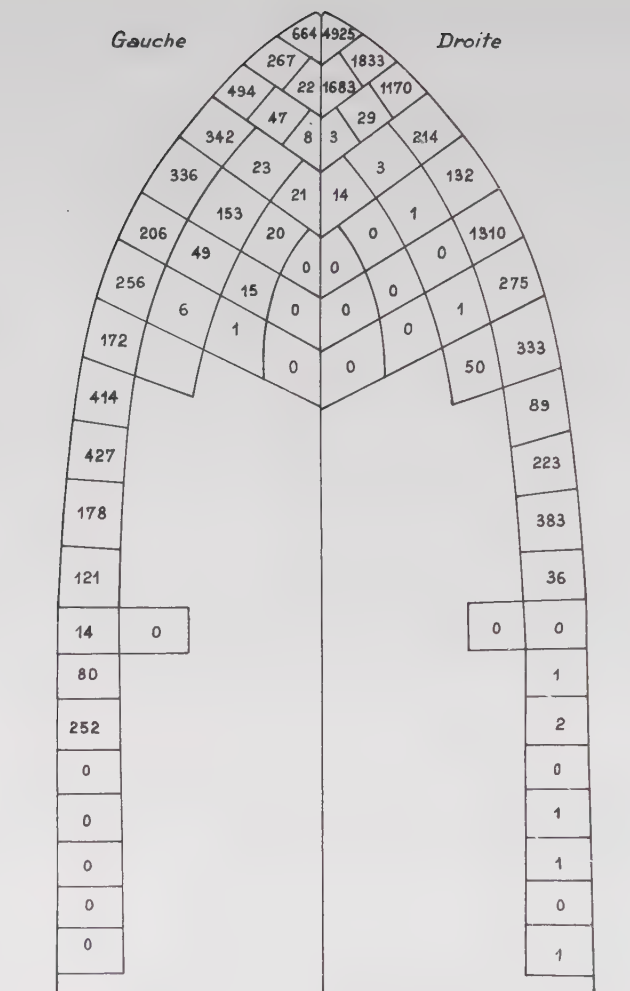


Fig. 12- Répartition moyenne des périthèces sur la
feuille, évaluée en nombre d'ascospores pro-
jetées au cm^2 .

Période de l'année

On observe une grande variation dans le nombre des ascospores libérées au cours de l'année. Nous avons donc été amené à préciser à quelle période on pouvait récolter les plus grandes quantités d'ascospores.

Chaque mois on récolte la totalité des feuilles atteintes, depuis la

première feuille nécrosée jusqu'à la dernière feuille sèche pendant le long du tronc, sur cinq bananiers Poyo. Sur chaque feuille, on prélève deux fragments dans les zones où les périthèces sont les plus nombreux (généralement les sommets droit et gauche). Les fragments prélevés sont soumis au traitement habituel de pluie artificielle. Les ascospores sont récoltées sur des lames puis dénombrées sur 1 cm².

TABLEAU 7

Tableau récapitulatif de la répartition
des ascospores dans l'année

Moyenne générale sur les 5 feuilles les plus atteintes
(Nombre d'ascospores observées sur un cm²)

	1958			1959			1960			1961		
	Gauche	Droite	Moyenne	Gauche	Droite	Moyenne	Gauche	Droite	Moyenne	Gauche	Droite	Moyenne
J.				769	799	786	352	218	285	74	145	110
F.				268	298	283	10	10,5	10	0,6	2	1,3
M.				61	55	58	15	14	14	22	66	44
A.				51	16	34	13	21	17			
M.				123	51	87	12	37	25			
J.				174	124	141	331	184	258			
J.	168	519	343	316	528	422	496	254	375			
A.	108	172	140	160	268	214	270	482	376			
S.	235	496	365	129	383	256	35	10	22			
O.	794	483	639	445	373	409	516	133	325			
N.	377	244	310	544	412	478	398	601	500			
D.	2.648	2.610	2.608	2.608	2.871	2.739	726	687	706			

REPARTITION DES ASCOSPORES - MOYENNE GENERALE SUR 3 ANNEES

Janvier	394	Juillet	380
Février	98	Août	243
Mars	38	Septembre	214
Avril (2 ans)	25	Octobre	458
Mai (2 ans)	56	Novembre	429
Juin (2 ans)	200	Décembre	2.024

Les résultats globaux de cet essai qui porte sur 33 mois sont résumés dans le Tableau 7 ; les chiffres indiqués représentent la moyenne des ascospores récoltées sur 1 cm² à partir de trois feuilles les plus atteintes. Nous donnons à titre indicatif les observations effectuées mensuellement pour deux périodes opposées quant à la quantité d'ascospores récoltées ; ces observations sont indiquées dans le Tableau 8 ; elles montrent bien les variations observées - 2.739 ascospores au cm² pour décembre qui marque la fin de la période pluvieuse et 44 pour mars, mois le plus sec de l'année. Il n'est pas possible de reporter ici les 33 tableaux d'observations, mais la Fig. 13 exprime bien les variations mensuelles observées. Cette figure permet également d'observer qu'il n'y a pas de différences entre le nombre d'ascospores libérées à partir des demi-limbes droit et gauche.

Quantités d'ascospores observées en Décembre 1959 et Mars 1961

Bananiers	A		B		C		D		E	
	g	d	g	d	g	d	g	d	g	d
N° feuilles	DECEMBRE 1959									
3					0	0				
4			0	0	0	0	0	0	5376	0
5	0	0	0	0	2448	801	0	0	690	424
6	259	0	44	2131	0	0	580	0	484	784
7	487	1802	539	2117	418	135	726	80	280	1160
8	4744	66	402	1680	556	9	33	96	0	165
9	732	2901	6	6	0	0	0	0	0	33
10	234	1122	605	94				14		
11	-	-								
12	0	30								
13	391	0								
	MARS 1961									
5	3	0			0	0	0	0	0	0
6	0	0			0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	11	58
8	0	523	0	0	0	0	0	834	3	124
9	0	3	0	0	482	28	0	53	0	0
10	0	0	110	0			-	28	0	0
11			25	0			0	0	0	0
12							0	0	0	0
13							0	0		
14							0	0		

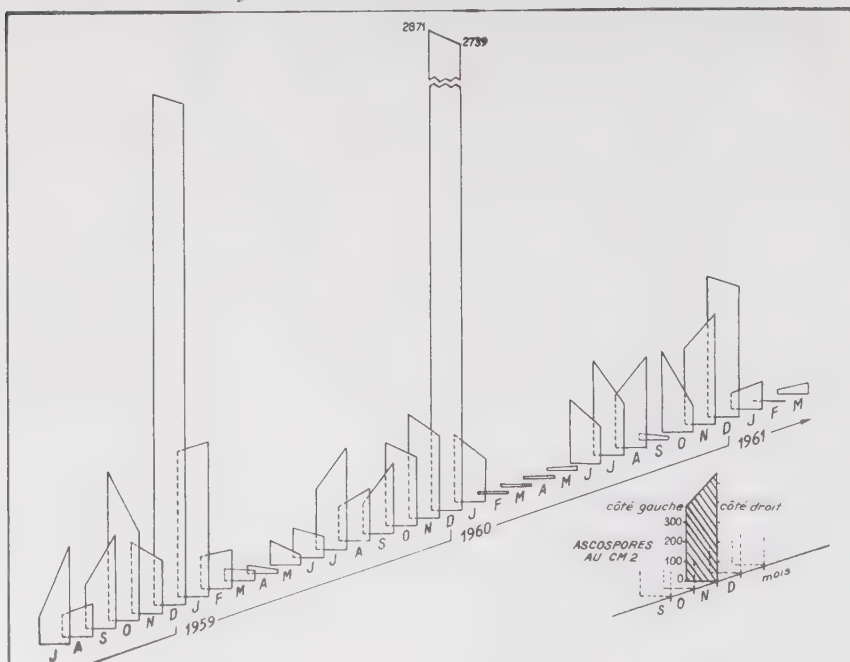


Fig. 13- Variations mensuelles de la quantité d'ascospores libérées à partir de trois feuilles les plus atteintes.

Cet essai permet de définir les périodes où nous pouvons obtenir aisément des ascospores, c'est-à-dire pendant 9 ou 10 mois de l'année. C'est seulement durant les mois de février-mars-avril que la récolte des ascospores ne pourra être effectuée.

Le choix du morceau de feuillage étant effectué, on contrôle la présence des périthèces en examinant un fragment de feuille à la loupe binoculaire après éclaircissement au lactophénol d'Amman bouillant, ou bien on soumet le fragment à une pluie artificielle. Cette dernière méthode est plus rapide et les indications qu'elle donne sont toujours valables. D'ailleurs en saison favorable, avec une certaine habitude on peut, sans grand risque de se tromper, déterminer à l'œil les fragments contenant des périthèces.

Réalisation de la pluie artificielle

La pluie est réalisée dans un appareil très simple constitué par une enceinte dans laquelle on peut placer une douzaine de fragments de feuille en série. La pulvérisation est obtenue en produisant un jet très fin par le passage de l'eau dans un orifice très étroit (gicleur de carburateur) ; le jet vient se briser sur la face convexe d'un verre de montre de grand diamètre (voir Fig. 14) et réalise un fin brouillard.

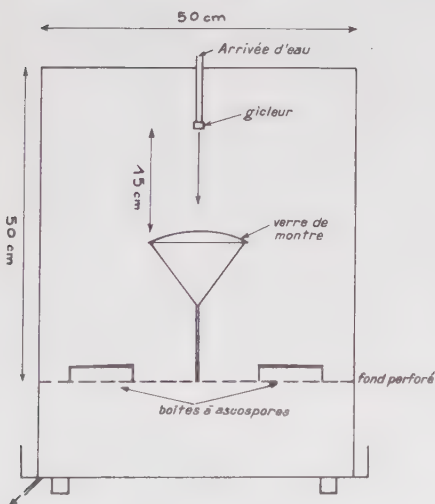


Fig. 14- Coupe dans l'appareil destiné à la production des pluies artificielles.

Il existe des différences quant aux quantités de pluie effectivement reçues par chaque échantillon. De plus, de fortes variations de pression sont relevées dans le tuyau d'alimentation. Aussi ne peut-on indiquer que des valeurs approximatives pour les hauteurs de pluie réalisées en un temps donné. On peut admettre que, avec cet appareil, un temps de pluie de 30 minutes correspond à une hauteur de pluie d'environ 15 mm (extrêmes allant de 10 à 20 mm). L'étude de la quantité d'eau nécessaire à une libération correcte sera envisagée plus loin.

Récolte des ascospores, observation et coloration

La présence de périthèces ou d'ascospores ayant été vérifiée, on découpe des fragments de feuille d'environ 3 à 4 cm de côté et on les place sur le couvercle des "boîtes à ascospores". Ces boîtes en rhodoïd (voir Fig. 15) se composent d'un couvercle constitué de deux lames entre lesquelles est glissé le fragment de feuille et d'un fond sur lequel sera placée une lame ; celle-ci repose sur des supports afin d'éviter qu'elle ne baigne dans l'eau qui risque de ruisseler à l'intérieur et d'entraîner les spores recueillies.

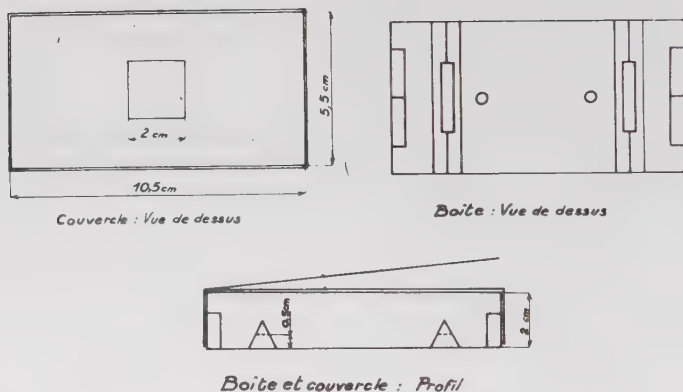


Fig. 15- Schéma d'une boîte destinée à recueillir les ascospores.

Au début de nos essais nous utilisions des lames gélosées pour recueillir les ascospores. Par la suite nous avons remarqué que celles-ci adhèrent très bien sur le verre. La face inférieure du fragment de feuille est tournée vers le bas, la face supérieure recevant la pluie. La lame doit être située à une distance de 1,5 cm de la feuille, cette distance permet une bonne répartition des ascospores.

Enfin, dans le cas d'essais sur le terrain, on transporte après la pluie artificielle les couvercles contenant les fragments de feuille directement sur la feuille de bananier. Celle-ci est rabattue sur un morceau de contreplaqué afin de présenter la face inférieure vers le haut. Pour éviter de blesser les tissus, on intercale sous le couvercle de la boîte à ascospores une feuille de caoutchouc ; le tout est maintenu en place par des pinces spéciales (voir Fig. 16 et 17).

Nous avons utilisé la méthode très simple d'observation directe de la feuille par transparence. L'opération est facile en ce qui concerne le cigare et les plus jeunes feuilles. Elle a permis de suivre les différentes phases de la germination des spores et de la pénétration du parasite.

L'éclaircissage au lactophénol bouillant a été uniquement utilisé pour l'étude des fructifications sur des fragments de feuilles adultes desséchées, trop opaques pour permettre une observation utilisant la transparence des tissus.

La coloration au bleu lactique est obtenue en trempant le fragment de feuille dans le colorant. Pour obtenir une bonne répartition de celui-ci malgré la cuticule cireuse de la feuille de bananier, on a ajouté au bleu lactique un mouillant : le triton X.114 à la dose de 1 %.

Discussion et critique de la méthode

Cette méthode a l'avantage d'être rapide. A partir d'un stock de feuilles préalablement récoltées, elle permet en une heure d'obtenir une quantité importante d'ascospores. Le nombre de spores libérées est variable ; il nous est arrivé de dénombrer plus de 10.000 ascospores au cm². Lors des essais préliminaires, les fragments fournissant moins de 100 ascospores au cm² sont éliminés.

Les principaux défauts de cette méthode sont les suivants :

- Elle nécessite la présence de feuilles contaminées contenant des périthèces, ce qui revient à dire qu'elle ne peut être utilisée que durant une partie de l'année ; ce défaut peut être compensé en collectant des feuilles de provenances différentes ;
- Elle n'est pas sélective et, sur les lames, on récolte non seulement des ascospores de *Mycosphaerella musicola*, mais de nombreuses autres spores d'espèces différentes, notamment de *Leptosphaeria* sp. souvent très abondantes, ainsi que des pycniospores provenant d'*Hendersonia* sp. Lorsque ces spores sont différentes en forme et en dimensions - c'est le cas de celles citées ci-dessus -, elles sont faciles à éliminer des observations. A certaines périodes de l'année, par contre, on peut récolter sur les lames à la fois des ascospores de *Mycosphaerella musicola* et des ascospores de forme et de dimensions très voisines. Seuls les caractères biométriques permettent une différenciation. Il s'ensuit une réelle difficulté d'observation.

Néanmoins, en attendant que soit réalisée en culture pure l'obtention du stade parfait, cette méthode a permis de commencer l'étude biologique du stade ascospore du *Mycosphaerella musicola* dans les conditions du laboratoire et de réaliser des inoculations expérimentales en bananeraie.

c) Conditions d'humidité nécessaires à la libération des ascospores en bananeraie

Durant plus de deux années, pendant les périodes où les périthèces sont présents dans les feuilles, nous avons mesuré la quantité d'ascospores libérées dans des conditions climatiques variables : pluies, rosées,

TABEAU 9
Action des conditions naturelles d'humidité
sur la libération des ascospores

	A Libération naturelle	B Libération au Laboratoire	A + B	C
1958				
10/9	3 255	1 878	5 133	pluie de 4,5 mm
13/9	12	2 796	2 808	rosée faible
1/10	29 379	452	29 331	pluie de 15,4 mm
2/10	155	3 148	3 303	traces de pluie
3/10	4 967	6	4 973	pluie de 17 mm
8/10	37	2 299	2 336	rosée faible
9/10	1 434	563	1 997	pluie de 1 mm
16/10	142	5 043	5 185	rosée faible
23/10	4 396	6 475	10 871	pluie de 5,1 mm
5/11	67	8 779	8 866	rosée faible
18/11	10 026	6 077	16 103	pluie de 16,2 mm
22/11	8 721	14 156	22 877	" 6 mm
25/11	4 775	2 338	7 113	" 10 mm
1/12	1 571	13 549	15 120	rosée forte
4/12	663	18 830	19 493	rosée faible
7/12	25 179	20 584	45 763	brouillard
12/12	11 447	14 907	26 354	"
20/12	6	7 600	7 606	rosée faible
23/12	33 782	57 912	91 694	brouillard
1959				
7/1	2 281	2 624	4 905	brouillard
10/1	92	1 730	1 822	rosée faible
29/1	309	1 592	1 901	brouillard
24/2	1 386	4 310	5 696	rosée forte
19/2	0	5 179	5 179	pas de rosée
3/3	224	1 196	1 420	rosée normale
23/3	628	1 445	2 073	rosée normale
24/4	0	316	316	pas de rosée
13/5	3	6	9	(ascospores en nombre insuffisant)
7/10	14	11 718	11 732	rosée faible
9/10	6	6 460	6 466	" "
12/10	1 061	4 766	5 827	pluie de 0,8 mm
19/10	342	387	729	" 1,0 mm
22/10	25	2 080	2 105	rosée faible
28/10	314	3 775	4 089	" "
2/11	31	22 464	22 495	" "
25/11	43	363	406	" "
30/11	11 250	7 569	18 819	brouillard
7/12	280	16 733	17 013	"
21/12	7 760	3 736	11 496	"
1960				
8/1	3 288	3	3 291	brouillard
27/1	0	171	171	rosée faible

brouillards, etc.

Protocole de l'essai.- Des fragments de feuilles contenant des périthèces sont placés dans des "boîtes à ascospores" et distribués dans la bananeraie, sur des supports à une hauteur équivalente à celle des feuilles. Les boîtes sont mises en place vers 18 heures et relevées le lendemain matin après la fin de la rosée, vers 9h30. On procède ensuite au comptage des ascospores sur les lames. Afin d'éviter toute erreur pouvant provenir de l'absence de périthèces à l'intérieur des fragments de feuilles, ceux-ci sont, après ramassage, soumis à une pluie artificielle de 30 minutes ; les ascospores récoltées sont également comptées. L'essai porte sur cinq fragments de feuilles.

L'ensemble des résultats est donné dans le Tableau 9.

Dans la colonne A, on lit le nombre moyen d'ascospores obtenues au cm^2 sur cinq lames dans les conditions naturelles, après une nuit en bananeraie.

Dans la colonne B, le nombre moyen d'ascospores récoltées au cm^2 à partir des mêmes fragments après 30 minutes de pluie artificielle au laboratoire.

Dans la colonne C sont notées les pluies indiquées en millimètres pour la période correspondante, ou bien les indications "brouillard", "rosée forte", "rosée faible", "pas de rosée".

Nous avons arbitrairement classé la quantité de rosée de la manière suivante :

Rosée forte : un ruissellement se produit naturellement par réunion de gouttes ;

Rosée normale : présence de gouttes, le ruissellement ne se produit que si l'on secoue la feuille ;

Rosée faible : présence de nombreuses gouttelettes très petites. Pas de ruissellement.

Une étude statistique des résultats a été faite ; elle est exposée dans le Tableau 10 :

On calcule dans chacune des catégories a, b, c et pour chaque essai le pourcentage d'ascospores libérées dans les conditions naturelles (Colonne A du Tableau 9) par rapport au chiffre total d'ascospores libérées en bananeraie et au laboratoire (Colonne A+B du Tableau 9) et on établit ensuite une comparaison des moyennes générales.

Il y a une différence significative entre les catégories a et b, mais le taux de probabilité est seulement de 0,10. Tandis qu'entre a et c, b et c, ce taux est de 0,01.

TABLEAU 10

Etude statistique de l'action des conditions naturelles
d'humidité sur la libération des ascospores

Pluie de plus de 1 mm a	Brouillard, pluie de moins de 1 mm b	Rosée forte normale, faible ou nulle c
3 255/ 5 133 = 63,4	25 179/45 763 = 55,0	12/ 2 808 = 0,4
29 379/29 331 98,5	33 782/91 694 36,8	155/ 3 303 4,7
4 967/ 4 973 99,9	2 281/ 4 905 46,5	37/ 2 236 1,7
1 434/ 1 997 71,8	309/ 1 901 16,3	142/ 5 185 2,7
4 396/10 871 40,4	1 061/ 5 827 18,2	67/ 8 866 0,8
10 026/16 103 62,3	43/ 406 10,6	1 571/15 120 10,4
8 721/22 877 38,1	11 250/18 819 59,8	663/19 493 3,4
4 775/ 7 113 67,1	280/17 013 1,6	6/ 7 606 0,1
11 447/26 354 43,4	7 760/11 496 67,5	92/ 1 822 5,1
342/ 729 46,9	3 288/ 3 291 91,9	1 386/ 5 696 24,3
		224/ 1 420 15,8
		628/ 2 073 30,3
		14/11 732 0,1
		6/ 6 466 0,1
		25/ 2 105 1,2
		314/ 4 089 7,7
		31/22 495 0,1
Moyenne : 63,2	Moyenne : 41,2	Moyenne : 6,50

Conclusions.- Cet essai montre qu'il n'y a pas en bananeraie de fortes libérations d'ascospores sans au moins 1 mm de pluie, mais que des libérations peuvent être obtenues par rosée et par brouillard.

Il n'y a donc pas de possibilité de libérations importantes d'ascospores sans pluie, mais, dans le cas de rosée ou de brouillard, un certain seuil d'infection peut cependant être maintenu.

2 - ETUDE EXPERIMENTALE DES FACTEURS CONDITIONNANT LA LIBERATION DES ASCOSPORES.

Nous avons cherché à préciser au laboratoire les indications obtenues à la suite des observations en bananeraie. Au moment où ces recherches ont été réalisées aucun travail n'avait été effectué sur la libération des ascospores dans ces conditions.

a) Etude de l'action des précipitations continues sur la libération

Avant d'aborder l'étude de l'action des pluies artificielles sur la libération, nous avons voulu vérifier que celle-ci ne se produisait pas en atmosphère saturée d'humidité en absence d'eau.

Si l'on place un fragment de feuille contenant des périthèces dans une enceinte où l'on maintient une atmosphère saturée, on n'observe jamais de



Fig.16 - Mise en place sur la face inférieure d'une jeune feuille de six "boîtes à ascospores".



atif de dépôt d'ascospores sur feuille.
 agment de feuille contenant des pé-
 eux lames de rhéoloïd du couvercle.

libération d'ascospores. Pour qu'une telle libération se produise il est nécessaire qu'il y ait contact entre l'eau et le fragment de feuille. On peut donc admettre que l'absorption d'eau par les tissus du périthèce et peut-être par les tissus de la feuille est nécessaire pour déclencher la libération des ascospores.

Essai I.- Temps de pluie nécessaire au déclenchement de la libération

Nous n'avons aucune donnée sur la période qui sépare le début de la pluie du commencement de la libération. Récemment PRICE (1960) a estimé qu'à une température de 28° C les périthèces présents dans la feuille produisent des ascospores 5 heures après que celle-ci a été humidifiée. FULTON (1962) a observé une production d'ascospores au bout de 12 heures avec un maximum après 14-15 heures. La technique de PRICE (loc. cit.) et celle de FULTON (loc. cit.) pour mouiller la feuille ne sont pas indiquées. Nous avons obtenu régulièrement, au laboratoire, des décharges d'ascospores en un temps beaucoup plus court.

Protocole.- On soumet les fragments de feuille à une pluie durant 30 minutes (ce qui correspond environ à 15 mm de hauteur de pluie). On récolte les ascospores jusqu'à épuisement ; toutes les 10 minutes à partir du début de la pluie on renouvelle les lames sur lesquelles sont recueillies les ascospores. Après 60 minutes, leur nombre diminuant, on ne change plus les lames que toutes les demi-heures.

Les résultats figurent dans le Tableau 11 et sont représentés dans la Fig. 18.

TABLEAU 11

Temps de pluie nécessaire au déclenchement de la libération

Durée de la pluie 30 minutes (env. 15 mm de pluie)	Pourcentage d'ascospores libérées en fonction du temps écoulé depuis le début de la pluie							
	Sous la pluie			Après la pluie				
	0 à 10 min.	10-20 min.	20-30 min.	30 - 40 min.	40 - 50 min.	50 - 60 min.	60 - 90 min.	90-120 min.
Essai 1-15/7/58	0	0,3	0,9	53,3	28,3	15,2	2	0
Essai 2-4/12/58	0	1,3	17,3	38,0	17,8	12,5	10,1	3
Essai 3-11/1/60	0,6	1,4	9,8	51,3	24,8	7,8	4,0	0,3

Ces chiffres sont obtenus pour des observations effectuées sur 10 lames pour chaque temps mentionné et pour les trois essais.

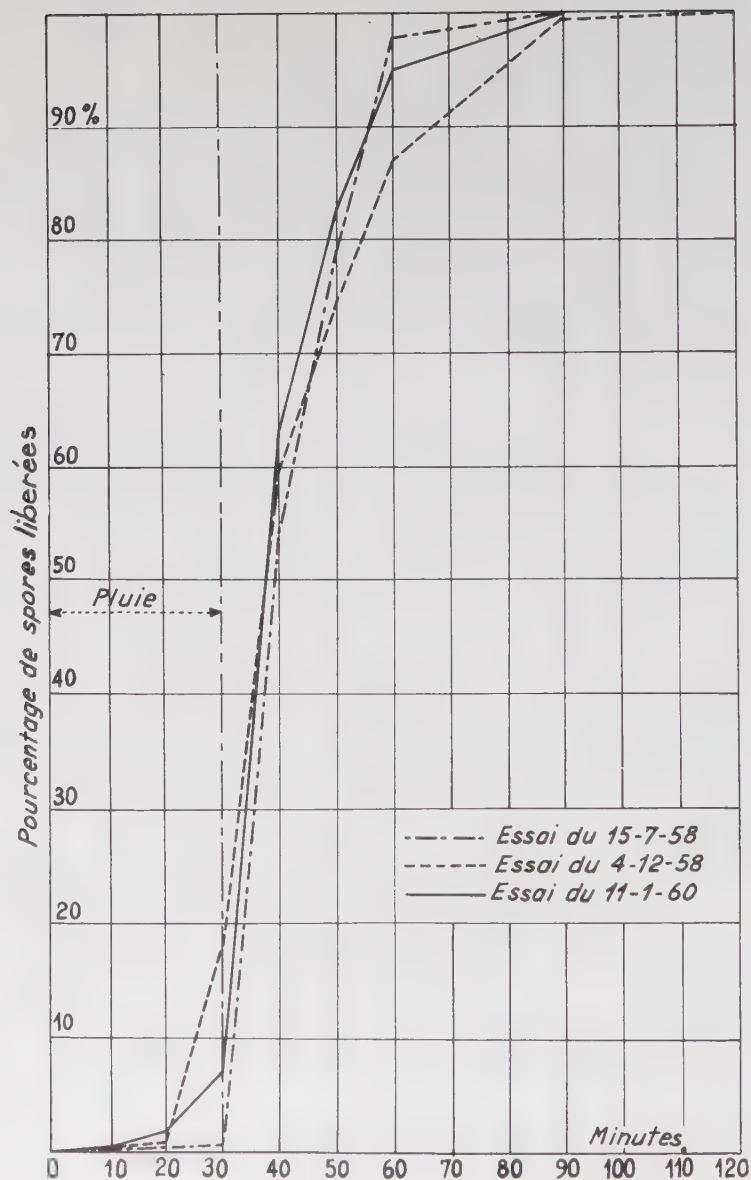


Fig. 18- Temps de pluie nécessaire au déclenchement de la libération.

Le nombre d'ascospores observées est de :

1.519 pour l'essai du 15/7/1958,
12.210 pour l'essai du 4/12/1958,
10.720 pour l'essai du 11/1/1960.

On peut donc admettre que sur des fragments laissés à sécher durant 24 heures dans les conditions du laboratoire, à une température d'environ 25° C et un pourcentage d'humidité de 50 à 80, la libération des ascospores commence environ 20 minutes après le début de la pluie ; 0,3 à 1,4 % des ascospores sont libérées durant cette période. La libération atteint son maximum entre 30 et 40 minutes (38 à 53 % des ascospores libérées) et elle se termine après 90 minutes.

Essai II.- Quantité minimale de pluie nécessaire pour déclencher la libération

Les observations sur le terrain nous ont permis de constater que les rosées peuvent déclencher la libération des ascospores. Pour confirmer cette donnée, nous avons soumis des fragments de feuille contenant des périthèces à des pluies de courte durée.

Protocole. - Il est identique à celui de l'essai précédent, mais les hauteurs de pluie sont faibles et varient : 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm environ (trois répétitions par essai).

Les résultats sont indiqués dans le Tableau 12 et représentés graphiquement dans la Fig. 19. Ils permettent d'effectuer les observations suivantes :

- Des pluies très faibles provoquent une libération importante d'ascospores. - Nous avons vu lors de l'étude de l'action des précipitations naturelles qu'une libération provoquée par une pluie faible (plus de 1 mm) était significativement différente de celle obtenue à la suite de rosées fortes ou de brouillards épais.

Dans l'essai que nous venons de réaliser, une pluie de 0,5 mm provoque une libération abondante d'ascospores ; plus de 18.000 ascospores ont été observées sur des lames à la suite de cet essai. Il n'est toutefois pas possible d'assimiler une pluie artificielle de 0,5 mm réalisée au laboratoire avec une même hauteur de pluie en bananeraie. En effet, une précipitation de 0,5 mm mouille à peine le feuillage étant donné l'inclinaison des limbes et leur imbrication, tandis qu'elle "détrempe" abondamment le fragment de feuille soumis à la pluie artificielle. Ces deux résultats ne sont donc qu'apparemment contradictoires.

- Des pluies très faibles provoquent une libération beaucoup plus étalée dans le temps, ce qui s'observe aisément en comparant les Fig. 18 & 19, d'autre part la période de récolte maximale est retardée (15 à 48 % des ascospores sont libérées plus de 60 minutes

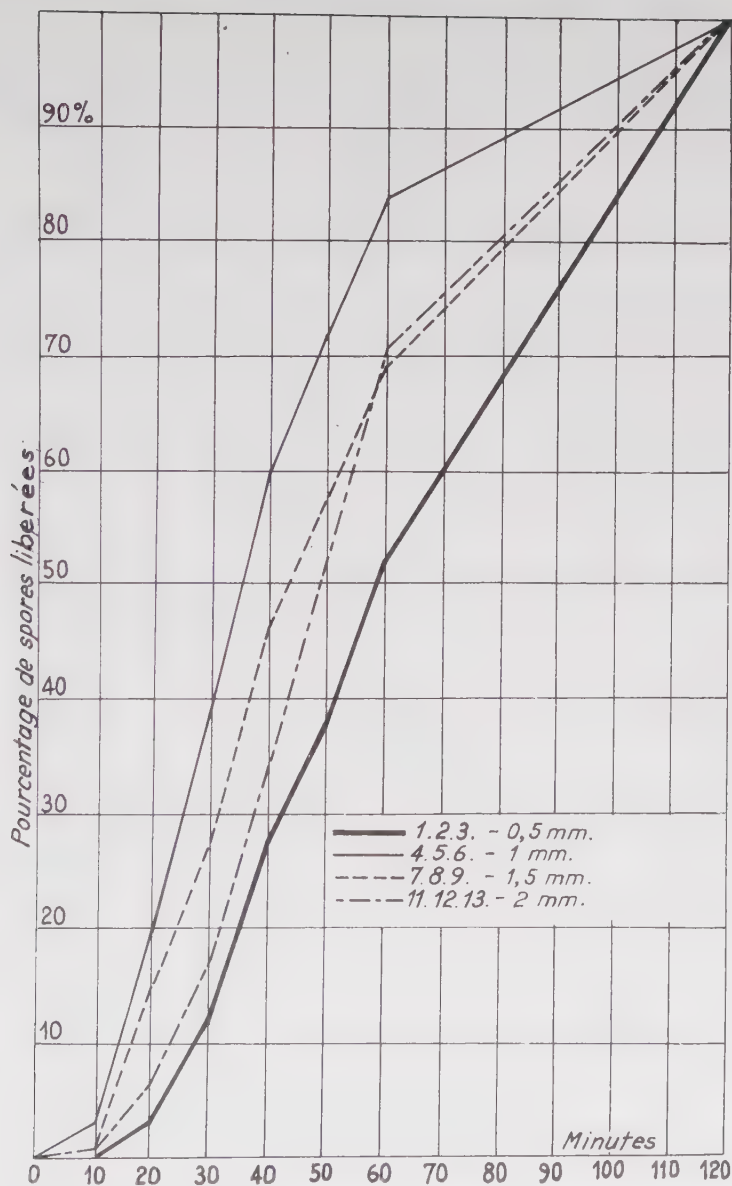


Fig. 19- Quantité de pluie nécessaire au déclenchement de la libération.

après la pluie). Toutefois, dans le cas de pluies faibles, la récolte est également terminée après 120 minutes. Il y a modification de la répartition, mais pas augmentation de la durée du phénomène.

Essais III.- Relation entre la durée de la pluie et la durée de la libération

Nous avons cherché à vérifier si la durée de la libération était fonction de la durée de la pluie (et indirectement de son intensité).

TABLEAU 13

Relation entre la durée de la pluie et la durée de la libération
(1ère Série)

Durée de la pluie	Pourcentage d'ascospores libérées en fonction du temps écoulé depuis le début de la pluie							
	0 à 10 min.	10-20 min.	20-30 min.	30-40 min.	40-50 min.	50-60 min.	60-90 min.	90-120 min.
20 minutes (10 mm)	0	1	15	51	17	8	4	4
30 " (15 mm)	0,5	1,5	10	51	24	8	5	0
40 " (20 mm)	0	0	16	39	20	15	8	2
50 " (25 mm)	0	12	18	25	23	12	8	2
Nombre d'ascospores observées								4.000 env.

TABLEAU 14

Relation entre la durée de la pluie et la durée de la libération
(2ème Série)

	Premier jour				Deuxième jour		Troisième jour	
	8h30-10h30 0 h	10h30-12h30	12h30-17h	17h-8h30 24 h	8h30-17h	17h-8h30 48 h	8h30-17	17h-8h30 72 h
1	691	3	0	2	2	12	12	10
2	13	0	2	4	7	6	4	0
3	283	4	21	6	7	5	4	16
4	131	7	2	9	8	14	4	15
5	172	46	0	4	3	0	2	4
6	622	0	13	1	2	35	36	32
7	227	0	42	0	0	1	19	80
8	127	2	44	6	7	13	5	14
9	5028	32	8	58	58	18	39	71

Protocole.- Il est identique à celui des essais précédents, mais les durées des pluies s'échelonnent entre 20 et 50 minutes.

Les résultats sont indiqués dans le Tableau 13 et représentés par la Fig. 20.

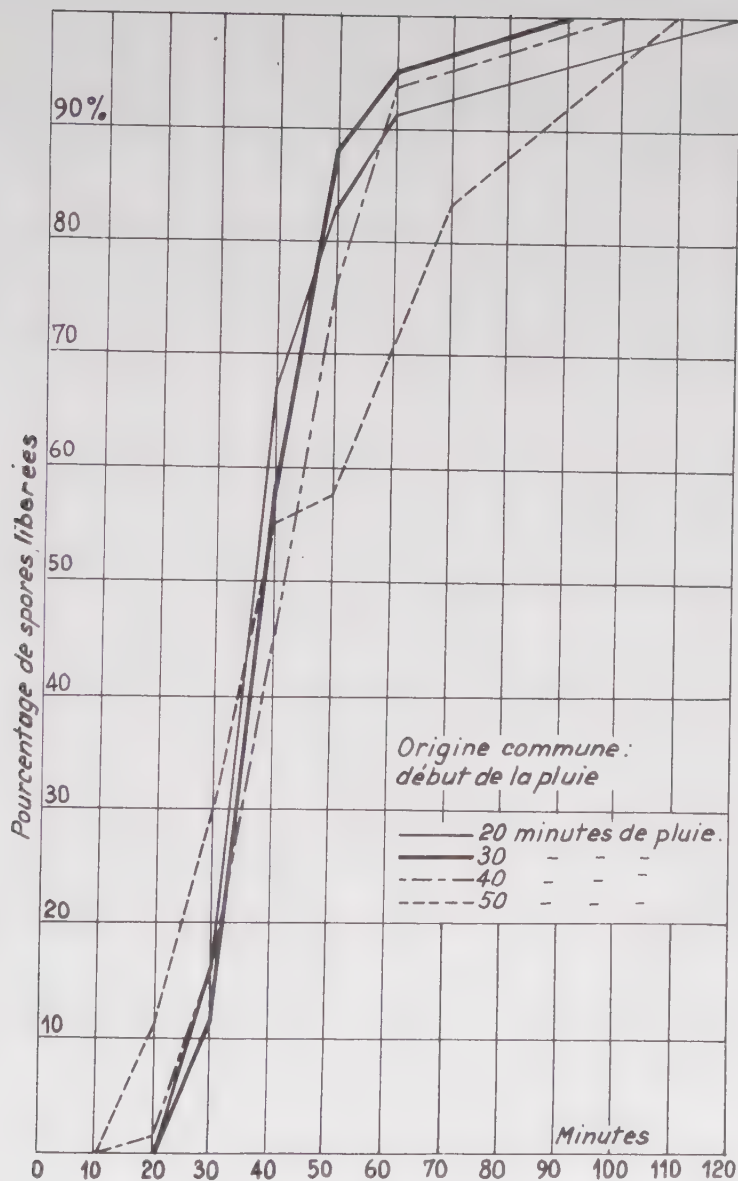


Fig. 20- Relation entre la durée de la pluie et la durée de la libération.

L'allongement de la durée de la pluie ne provoque pas une augmentation du temps de récolte. Celle-ci, comme dans les essais précédents, cesse entre 90 et 120 minutes. Le seuil 30-40 minutes reste celui où le nombre d'ascospores libérées est à son maximum. Il nous a semblé nécessaire de confirmer ces résultats en réalisant des pluies artificielles beaucoup plus longues.

Protocole.— Des fragments de feuille sont soumis à une pluie continue durant 72 heures. L'essai débute à 8 h 30, les lames recueillant les ascospores sont changées à 10 h 30 et 12 h 30, puis à 17 h, le lendemain et le surlendemain à 8 h 30 et 17 h ; l'essai est arrêté le troisième jour à 8 h 30. Il comprend neuf répétitions.

La lecture du Tableau 14 montre que, durant les 2 premières heures, un nombre important d'ascospores est libéré dans presque tous les cas et qu'ensuite le nombre des spores récoltées devient très faible.

Discussion

A partir de ces trois premiers essais on peut admettre que :

- La libération des ascospores est déclenchée par une pluie de très faible intensité : 0,5 mm ;
- Le temps nécessaire à l'apparition du phénomène (20 minutes environ) est indépendant de l'intensité des pluies ;
- Dans le cas de pluie très faible, la libération est plus étalée et le maximum d'intensité est retardé, mais la durée du phénomène n'est pas augmentée et ne dépasse pas 120 minutes ;
- La durée du phénomène est indépendante de celle des pluies et se situe approximativement entre 20 et 120 minutes.

Les trois premiers points n'attirent pas de commentaires spéciaux et ne sont pas en contradiction avec ce que nous connaissons du mécanisme de libération des ascospores. Le quatrième est difficilement compréhensible ; on ne peut envisager en effet que dans un fragment de feuille tous les périthèces soient rigoureusement au même degré de maturité. On peut admettre qu'une pluie déclenche une libération abondante, mais, par la suite, on devrait continuer à récolter un pourcentage beaucoup plus important d'ascospores que celui observé au cours des essais. On doit donc supposer qu'après un certain temps de pluie continue le processus de libération est partiellement inhibé.

b) Etude de l'action des précipitations discontinues sur la libération

Des observations effectuées en bananeraie nous ont montré que les périodes les plus favorables à la libération des ascospores sont celles

des tornades où de courtes alternances de pluie et d'ensoleillement se produisent. Il se peut donc qu'un certain dessèchement des tissus entre deux pluies soit nécessaire pour que des libérations successives puissent avoir lieu. Cette observation a été récemment confirmée par PRICE (1960) au Cameroun occidental.

Nous avons vérifié ces observations en soumettant des fragments de feuille contenant des périthèces à des périodes alternées avec et sans pluie artificielle. Nous avons également précisé la durée minimum d'arrêt entre deux pluies.

Essai I.- Période longue (une semaine) entre deux pluies

Nous suivons le protocole habituel pour obtenir la libération. Après avoir été soumis à une pluie artificielle, les fragments sont laissés au laboratoire, où la température est de 26° - 28° C, et l'humidité relative 50 à 80 %, durant une semaine, puis ils sont à nouveau soumis à une pluie

TABLEAU 15
Ascospores récoltées après des pluies artificielles
espacées d'une semaine

Dates des essais	Fragments de feuilles					
	A	B	C	D	E	F
1ère SERIE						
30/12/58	3759	6528	5067	4764	2093	
6/ 1/59	3842	908	5852	8688	785	
14/ 1/59	532	1536	5025	206	1900	
27/ 1/59	137	84	126	0	98	
2ème SERIE						
28/ 1/59	3222	619	1638	734	895	771
4/ 2/59	41	825	330	478	148	456
11/ 2/59	79	893	632	550	71	0
23/ 2/59	14	321	203	220	5	0
9/ 3/59	0	0	3	0	52	0
3ème SERIE						
4/12/59	7885	2626	3185	1548		
11/12/59	2013	4282	2630	448		
19/12/59	22	794	775	376		
26/12/59	123	5	197	637		
4ème SERIE						
29/12/59	3096	4000	574	4039		
5/ 1/60	1938	2923	836	1511		
12/ 1/60	47	434	462	1611		
19/ 1/60	30	49	77	921		
27/ 1/60	349	3	395	0		

artificielle, ceci 4 ou 5 semaines de suite. Les résultats, exposés dans le Tableau 15, sont exprimés en nombre d'ascospores observées au cm² après chaque pluie (quatre à six répétitions).

Les quantités d'ascospores récoltées montrent que des périthèces présents dans des fragments de feuilles sont susceptibles de libérer des ascospores pendant une période de 2 à 3 semaines, si les pluies sont espacées de plusieurs jours (une semaine dans cet essai).

Ceci montre qu'avec des périodes de repos d'une semaine la libération reprend à chaque pluie, mais ne résoud pas le problème posé par l'essai précédent où le temps de pluie continue était de 72 heures. Nous avons donc cherché à voir si plusieurs récoltes abondantes d'ascospores pouvaient être obtenues durant ce laps de temps, à condition d'interrompre les pluies.

Essai II.- Libérations obtenues durant 72 heures avec alternance de pluies et de périodes sans pluie

Protocole.- Libération provoquée par la méthode usuelle. Intervalle entre chaque pluie, 24 heures; durée de l'essai, 72 heures. Les fragments

TABLEAU 16
Comparaison des pourcentages d'ascospores libérées
à la suite de pluies continues A et discontinues B

	0 h		24 h		48 h		72 h	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1	100	100	0,7	632	2	15,6	3,1	33,7
2	"	"	46	94,6	9,9	86	3	75
3	"	"	10,9	85	4,2	10,2	7	6,3
4	"	"	13,7	62	16,7	35,5	14,5	41,8
5	"	"	29	10	1,7	27,6	3,4	21,7
6	"	"	2,2		5,9		10,9	
7	"	"	18,5		0,4		22,7	
8	"	"	40		15,7		14,9	
9	"	"	1,9		1,5		2	
Moyennes			21,98	164,72	6,24	34,98	9,05	35,62

A = essai de pluie continue (les fragments restent soumis durant 72 heures sans interruption à une pluie artificielle)

B = essai de pluie et séchage alternés (pluies artificielles de trente minutes de durée toutes les 24 heures)

On considère que la quantité d'ascospores libérées lors de la première pluie représente 100 %.

sont laissés à l'air libre au laboratoire - température, 28° - 32° C - état hygrométrique, 60 à 80 %. Résultats exprimés en ascospores observées au cm² après chaque pluie ; cinq répétitions.

		<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	<u>E</u>
0h (30 min. de pluie, 30 min. de récolte)		83	112	458	222	505
24h (	id.	) 525	106	116	138	80
48h (	id.	) 13	97	47	79	29
72h (	id.	) 28	84	29	93	108

Les résultats obtenus dans cet essai sont particulièrement intéressants car ils sont comparables au point de vue durée avec ceux de l'essai de pluie continue durant 72 heures. Ils montrent bien qu'il existe une différence dans l'importance de la libération des ascospores selon que les pluies sont continues ou discontinues. Cette différence est exprimée dans le Tableau 16 en pourcentage de spores récoltées dans chaque essai.

Cet essai démontre qu'un arrêt des pluies et un "séchage" de la feuille sont nécessaires pour que des libérations successives d'ascospores puissent se produire. Toutefois il faut bien préciser qu'une diminution d'hygrométrie relativement peu importante est suffisante puisque, dans cet essai, les feuilles ont été laissées dans l'atmosphère du laboratoire à une humidité relative variant de 50 à 80 %. On peut donc supposer qu'une déshydratation partielle des tissus entre chaque pluie est suffisante pour que la libération des ascospores puisse être à nouveau déclenchée par une nouvelle précipitation.

Nous avons cherché à établir quel était le temps minimum d'arrêt entre deux pluies dans les conditions du laboratoire pour que la libération des ascospores puisse à nouveau se produire.

Essai III.- Temps minimum de "séchage" entre deux pluies consécutives

Protocole.- Méthode habituelle de libération. Intervalle entre deux précipitations, 4, 3, 2 et 1 heure. Etat hygrométrique, 70 - 80 %. Température, 27° - 28° C. Les résultats sont exprimés dans le Tableau 17.

La conclusion qui peut être tirée de cet essai est qu'un intervalle d'une heure entre deux pluies, dans les conditions du laboratoire, permet une déshydratation suffisante pour qu'une nouvelle libération puisse se produire alors que, comme nous l'avons vu précédemment, si la pluie a lieu de façon continue, la libération ne se produit pratiquement qu'une seule fois au début.

Il faut toutefois remarquer que le séchage de petits fragments de feuilles de quelques centimètres carrés de surface dans les conditions du laboratoire est plus rapide que celui d'une feuille entière, en place

TABLEAU 17

Etude des temps d'interruption entre deux pluies successives

RESULTATS EXPRIMES EN QUANTITE D'ASCOSPORES DENOMBREES AU CM²
(3 répétitions par série)

	1ère pluie	2ème pluie 4 heures plus tard
SERIE 1	290	18
	139	150
	72	24
		3 heures plus tard
SERIE 2	201	85
	1168	214
	418	13
		2 heures plus tard
SERIE 3	152	569
	392	1503
	267	167
		1 heure plus tard
SERIE 4	80	234
	100	73
	42	370

sur un bananier. C'est pourquoi nous n'avons pas cherché à vérifier si des intervalles plus courts pouvaient permettre une nouvelle libération.

c) Discussion générale

L'étude des différents facteurs nous a montré que, dans les conditions de la Guinée, les ascospores peuvent être libérées durant la plus grande partie de l'année (9 à 10 mois) alors que, dans la plupart des pays où la Cercosporiose est présente, les ascospores sont signalées durant 3 à 6 mois.

Les ascospores étant présentes dans les périthèces, le facteur principal de leur libération est la pluie, ou tout au moins la présence sur la feuille d'une pellicule liquide qui peut également être obtenue à la suite de rosées ou de brouillards. Il semble nécessaire que les tissus des périthèces puissent être imprégnés d'eau. Un tel phénomène ne provoque toutefois qu'une seule libération. Pour que d'autres puissent se produire, il est nécessaire qu'une période d'assèchement des tissus existe entre deux pluies consécutives. La période la plus favorable à la libération des ascospores sera donc celle des tornades où l'on observe des pluies courtes et violentes, séparées par des périodes ensoleillées. En outre les tornades sont généralement accompagnées de rafales de vent qui non seulement activent l'assèchement des tissus, mais favorisent la dissémination comme nous allons voir dans la seconde partie de ce Chapitre III consacrée au transport.

B . TRANSPORT LATÉRAL DES ASCOSPORES.

Avant d'aborder cette seconde partie du Chapitre III il est nécessaire de rappeler les points suivants qui ont été étudiés par de nombreux chercheurs et que nous ne reprendrons pas dans ce travail.

Les conidies sont transportées uniquement par l'eau : pluie ou rosée (LEACH, 1946, CALPOUZOS, 1955).

Les ascospores sont toujours transportées par des courants aériens (LEACH, 1946).

L'inoculum, conidies ou ascospores, se trouvant situé au niveau des feuilles âgées portant des nécroses, on assiste donc à un transport s'effectuant dans deux directions (Fig. 21) :

- Entraînement des conidies par l'eau vers le bas, c'est-à-dire vers les feuilles des jeunes rejets ;
- Entraînement des ascospores par l'air vers les jeunes feuilles les plus élevées du pied-mère et des pieds environnants.

Il faut faire remarquer que le transport des ascospores n'est pas totalement expliqué. LEACH (1946) est l'auteur qui a le plus étudié cette question ; il suppose que les ascospores ne sont entraînées que par des mouvements aériens ascendants limités qui interviennent en bananeraie. De telles ascendances verticales entraînent les ascospores vers les jeunes feuilles élevées entièrement déroulées et principalement vers le sommet de celles-ci.

Les deux modes de transport décrits ne permettent la dissémination de la maladie qu'à très faible distance et de proche en proche ; en effet, les conidies entraînées par l'eau ne peuvent se déposer que sur les feuilles situées en dessous (jeunes rejets) et sur les feuilles voisines (rejaillissement des gouttelettes), tandis que les ascospores entraînées par les ascendances verticales limitées à la zone du feuillage ne peuvent contaminer que les feuilles du sommet du bananier dont elles sont issues, ou tout au plus des bananiers voisins. Or nous avons pu, en Guinée, suivre l'évolution de la maladie à partir du foyer de Benty, où celle-ci est apparue en 1952 (voir carte, Fig. 1), et constater qu'en quelques mois la maladie s'est disséminée sur plusieurs milliers de km² à des distances variant de 100 à 150 km du point d'origine. Une telle rapidité de dissémination implique un autre moyen de transport que ceux que nous venons d'envisager. C'est ce moyen que nous nous sommes efforcé de définir.

En réduisant le déplacement des ascospores à une trajectoire verticale très limitée du bas vers le haut, on diminue considérablement la dispersion possible de celles-ci et ce mode de transport ne permet pas d'expliquer la dissémination de la maladie à grande distance. LEACH (1946) écrit à ce sujet que les ascospores sont libérées au début de la matinée, lorsqu'il y a très peu de vent, de telle sorte qu'elles sont emportées vers le haut



Fig. 21- Schéma indiquant les différents types possibles de transport des organes de propagation de la maladie.

par le courant d'air léger, sur la face inférieure des feuilles ouvertes. S'il y a du vent, celui-ci répand les spores si largement que de fortes infections ne sont possibles que sur les pieds au voisinage immédiat.

La notion de transport latéral des ascospores n'a pas été admise par cet auteur qui écrit ailleurs que s'il y avait une dispersion latérale des ascospores, beaucoup d'entre elles seraient projetées sur les feuilles en déroulement et, comme le côté gauche des feuilles est exposé à l'infection beaucoup plus longtemps que le droit, les taches résultant d'une telle infection devraient se développer d'abord sur le côté gauche. Le fait que

cela ne se produise pas prouve que les ascospores doivent être entraînées par des courants d'air verticaux plutôt qu'horizontaux.

Par la suite, d'autres auteurs, HOLLIS (1954); TOLLENAAR (1955), ont admis à la suite d'observations qu'il devait exister un transport latéral des ascospores. STOVER (1962) pense que l'invasion brutale de la zone bananière américaine s'est faite aux environs de 1930 à partir d'ascospores transportées par des courants aériens de haute altitude depuis les fles du Pacifique.

Nous nous sommes efforcé de démontrer, à la suite d'observations en bananeraie et par expérimentation, la réalité de ce transport latéral qui permettait d'expliquer les contaminations à grandes distances.

1 - ETUDE DU TRANSPORT LATÉRAL EN BANANERAIE NON CONTAMINÉE.

a) Observations en bananeraie

En Guinée, à la fin de la saison sèche, les bananeraies présentent peu de symptômes de Cercosporiose et les jeunes bananeraies replantées en novembre sont pratiquement saines. Il n'existe à l'intérieur de celles-ci aucun foyer de contamination. Or, après la période des tornades qui sont, nous l'avons vu, particulièrement favorables à la libération des ascospores, on observe l'apparition de lésions de Cercosporiose sur les feuilles. Ces lésions sont plus ou moins nombreuses ; elles sont plus fréquentes à proximité des parcelles de vieux bananiers atteints par la maladie, mais des attaques peuvent être observées à plusieurs centaines de mètres de distance de tout foyer de contamination.

On remarque également l'apparition de lésions dans des bananeraies saines, isolées et éloignées de toute source d'infection. Ces lésions sont généralement plus nombreuses sur les bananiers situés en bordure de la plantation, et le long des ouvertures où l'air circule librement : chemins d'accès, fossés de drainage, etc.

Des observations effectuées sur de jeunes feuilles prélevées dans ces parcelles qui présentent des attaques primaires montrent que :

- 1) Des ascospores sont fréquemment trouvées sur le feuillage,
- 2) Aucune conidie n'y est présente,
- 3) La quantité d'ascospores décroît lorsque l'on s'éloigne des bordures pour pénétrer dans l'intérieur des parcelles.

Ces observations impliquent que seules les ascospores sont responsables de telles attaques et que l'intervention d'un moyen de transport à grande distance doit être soupçonnée.

Nous avons effectué des comptages de conidies et d'ascospores trouvées sur le feuillage de jeunes bananiers situés à proximité d'une parcelle atteinte et séparés de celle-ci par une route d'une dizaine de mètres de largeur.

Ces relevés ont été effectués le 7/6/1958 le lendemain d'une pluie de 20 mm ; les spores ont été recherchées sur le sommet de jeunes feuilles. Les résultats sont groupés dans le Tableau 18 (quatre répétitions par zone observée).

TABLEAU 18
Observation d'ascospores sur le feuillage

Distance de la source d'infection	Ascospores observées au cm ²	Conidies observées au cm ²
10 METRES		
1	13	0
2	38	"
3	42	"
4	11	"
50 METRES		
1	3	"
2	28	"
3	12	"
4	24	"
PLUS DE 100 METRES		
1	1	"
2	0	"
3	0	"
4	1	"

De telles recherches sont très longues à effectuer et il est bien certain que l'on doit trouver des ascospores à des distances plus considérables, mais leur faible concentration rend très délicate leur observation.

Nous avons cherché à démontrer expérimentalement ce transport des ascospores par le vent.

b) Démonstration expérimentale du "transport latéral

La confirmation expérimentale des observations précédentes a été obtenue de la manière suivante :

Protocole.— Trois bananiers - A, B et C - sont recépés (l'ensemble du feuillage est coupé) ; le sol avoisinant est soigneusement débarrassé de tout débris de feuille pouvant contenir des périthèces susceptibles de libérer des ascospores, et des cages en polyéthylène sont placées au-dessus des bananiers, rendant toute contamination impossible. Cet essai a été mis en place le 28 août 1958 ; les cages ont été enlevées le 13 Octobre suivant.

Résultats.- A cette date :

- Les bananiers A et B possèdent 7 feuilles déroulées, numérotées de 1 à 7 ; la feuille 8 est à l'état de cigare ;
- Le bananier C possède 6 feuilles déroulées, numérotées de 1 à 6 ; la feuille 7 est à l'état de cigare.

La feuille la plus âgée porte le numéro 1 et chaque nouvelle feuille émise est numérotée, le chiffre le plus élevé indiquant la feuille la plus jeune.

Les bananiers sont choisis distants d'une vingtaine de mètres des porteurs atteints. Seul un transport latéral d'ascospores permettra une contamination du feuillage.

Le 28 Octobre, 15 jours après l'enlèvement des cages, on observe les premiers symptômes en A et B sur les feuilles 2.

Le 30 Octobre : A, feuilles 2, 3 atteintes,
 B, feuilles 1, 2, 3, 4 atteintes,
 C, feuilles 1, 2, 3 atteintes.

Le 8 novembre, l'ensemble du feuillage des bananiers A, B et C présente des symptômes. Les feuilles à l'état de cigare au moment du retrait des cages sont également atteintes.

Le 13 décembre, deux mois après l'enlèvement des cages, le pourcentage du feuillage sain sur les différents bananiers est celui qu'indique le Tableau 19.

TABLEAU 19

Etat du feuillage deux mois après l'enlèvement des cages
 de polyéthylène : p.cent de feuillage desséché

	A	B	C
Feuille 1	0	0	0
2	0	0	0
3	43	53	0
4	41	28	25
5	33	53	19
6	8	16	16
7	45	29	16
8	44	non déroulée le 13/10	36

Ces chiffres démontrent qu'un transport latéral d'ascospores par le vent intervient bien et que ce transport peut, à lui seul, provoquer une attaque très grave. La distance est ici très faible, mais le nombre de lésions observées indique très nettement qu'une quantité considérable

d'ascospores a été déposée sur le feuillage.

Conclusions.— Les résultats obtenus par observation directe ou à la suite d'une expérimentation montrent qu'il se produit un transport latéral d'ascospores par le vent. Un tel mode de transport permet seul d'expliquer les contaminations à de longues distances, telles que celles observées en Guinée lors de l'extension de la maladie et sur des bananeraies saines complètement isolées des foyers de contamination.

Ce type de transport est excessivement important et il permet de comprendre le mécanisme d'extension rapide de la maladie, inexplicable à partir des données classiquement admises jusqu'à ce jour pour le *Mycosphaerella musicola*.

2 - ETUDE DU TRANSPORT LATÉRAL EN BANANERAIE CONTAMINÉE.

Nous venons de voir que le transport latéral permet la contamination à grande distance, mais, dans ce cas précis, il est le seul possible. Par contre, dans une bananeraie fortement atteinte, il peut ne jouer qu'un rôle négligeable par rapport au transport des ascospores par les

TABLEAU 20

Présence d'ascospores sur le cigare à différents stades de déroulement (série 1)

Stade de déroulement du cigare	Nombre d'ascospores au cm ²	
	Côté gauche	Côté droit
OBSERVATIONS DU 3/10/1960 : PLUIE DE 20 mm DURANT LA NUIT		
C	386	320
	55	0
	64	0
	72	0
D	155	123
	37	28
	78	52
E	80	75
	129	144
	139	226
OBSERVATIONS DU 9/11/1960 : PLUIE DE 6,6 mm DURANT LA NUIT		
B	10	0
	12	0
C	89	37
	37	0
D	45	85
	31	0
E	99	85
	111	79

ascendances verticales. Nous avons essayé de préciser ce point ; deux méthodes différentes d'observation ont été utilisées.

a) Présence d'ascospores sur le cigare

Nous avons recherché la présence d'ascospores sur le jeune cigare, ce qui, d'après LEACH (1946), serait une preuve du transport latéral. La présence d'un nombre important d'ascospores sur le cigare montrerait que ce type d'infection n'est pas négligeable. La Fig. 22 montre la localisation des prélèvements sur le jeune cigare en cours de développement. Les différentes phases de l'évolution du cigare : A, B, C, D, E seront précisées au Chapitre IV, p. 138.

Nous avons effectué plusieurs séries d'observations qui sont résumées dans le Tableau 20.

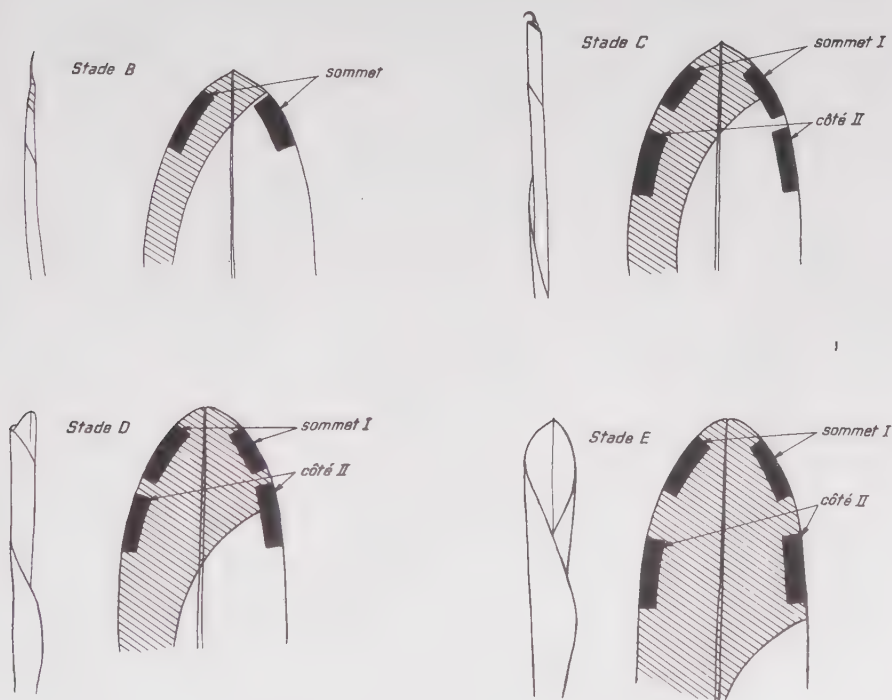


Fig. 22- Schéma montrant quelques aspects du déroulement du cigare et les zones possibles de dépôt d'ascospores. (hachures). Les rectangles indiquent les emplacements où ont été effectués les comptages d'ascospores.

Ces chiffres montrent que les ascospores se déposent très tôt sur le cigare, que le dépôt est continu aux différents stades de déroulement et qu'il est très abondant. Le fait qu'aucune ascospore n'ait été trouvée sur le sommet côté droit au stade B est normal puisqu'à ce moment le côté droit n'est pas déroulé ; la présence d'ascospores à cet endroit de la jeune feuille impliquerait leur entraînement par l'eau le long du bord du limbe encore enroulé.

D'autres observations ont été effectuées non seulement au sommet de la jeune feuille, mais également sur les côtés (voir Fig. 22), de façon à bien préciser que le dépôt des ascospores s'effectue au fur et à mesure du déroulement du cigare. Ces observations sont résumées dans le Tableau 21.

TABLEAU 21
Présence d'ascospores sur le cigare à différents stades
de déroulement (série 2)

Stade de déroulement du cigare	Nombre d'ascospores au cm ²	
	Gauche	Droite
OBSERVATIONS DU 14/11/1960 : ROSEE ABONDANTE		
D Sommet (I)	140-92	3-119
Côté (II)	32-55	1-0
OBSERVATIONS DU 17/11/1960 : ROSEE ABONDANTE		
C Sommet (I)	66	34
	49	61
Côté (II)	8	0
	19	0
D Sommet (I)	70	57
Côté (II)	65	1
E Sommet (I)	110	49
	114	109
Côté (II)	54	42
	51	87

Les observations, et notamment celles du 17/11, montrent bien que les ascospores se déposent au fur et à mesure que le cigare se déroule, ce qui démontre la réalité du transport latéral. Il est en effet difficile d'envisager que des ascospores transportées uniquement de bas en haut puissent se déposer en aussi grand nombre sur le jeune cigare dressé verticalement ; un tel dépôt est impossible lors des premiers stades du déroulement A, B, C ; en effet, durant ces stades, le cigare est totalement protégé par les feuilles situées autour de lui et en dessous et encore indemnes de lésions susceptibles de contenir des périthèces. Lorsque le cigare a atteint ses dimensions définitives et se déroule (D et E), la protection existe toujours et les chances de dépôt par transport latéral sont beaucoup plus grandes ; en effet, le cigare expose au transport latéral une surface plus importante.

TABLEAU 22

Répartition et gravité des nécroses sur le limbe

Côté d'apparition de la 1ère nécrose	Rapport $\frac{G}{D}$
---	-----------------------

OBSERVATIONS EFFECTUEES DE SEPTEMBRE 1955 à MARS 1956

G et D	0,72
D	0,97
G	1,02
G	0,51
G	0,74
G	0,91
D	1,94
G	0,67
D	1,47

OBSERVATIONS EFFECTUEES DE DECEMBRE 1956 à MAI 1957

G et D	1,08
G	0,52
G	0,90
G	0,76
G	0,97
D	1,14
D	1,14
G	0,51
G	0,65
G	0,48
G - D	1,01
G	0,87
D	0,36
D	1,31
G	0,46
D	1,73
G - L	0,95
D	0,97
G	0,61

TABLEAU 23

Comparaison des rapports obtenus selon le type d'attaque

Rapports inférieurs à 1	Rapports proches de 1	Rapports supérieurs à 1
0,72 - 0,51 - 0,74	0,97 - 1,02 - 0,91	1,94 - 1,47 - 1,14
0,67 - 0,36 - 0,48	1,01 - 0,95	1,31 - 1,79
0,51 - 0,65 - 0,87		
0,46 - 0,61 - 0,39		

Les dépôts "verticaux" ne peuvent devenir importants qu'après que la feuille soit totalement déroulée et qu'elle commence à perdre sa position dressée, et l'on peut parfaitement envisager que les dépôts effectués à ce stade montrent une importance beaucoup plus grande que ceux réalisés au stade cigare; dans ce cas, ils masqueront les premiers et nous observerons un tip spotting classique. Nous avons donc précisé quel était le type de transport prépondérant en examinant la répartition des lésions sur le limbe.

b) Démonstration de transport latéral

Rappelons que dans le cas de dépôts d'ascospores à partir d'ascendances verticales, l'évolution de la maladie provoque l'apparition simultanée de symptômes identiques sur les deux parties du limbe. Par contre, le transport latéral provoque d'une part un dépôt plus précoce sur le côté gauche, d'autre part un dépôt plus abondant parce que plus prolongé sur ce même côté. On peut donc imaginer deux hypothèses :

- Le transport latéral est le plus important; dans ce cas les symptômes doivent apparaître d'abord à gauche et les lésions doivent être les plus fréquentes sur ce côté du limbe ;
- Les ascendances verticales représentent le mode le plus important de dissémination des ascospores et la répartition des lésions est, dans ce cas, identique sur les deux parties droite et gauche du limbe.

Nous avons recherché en bananeraie si de tels types de répartition pouvaient être observés.

Sur des feuilles de sommet, donc soumises uniquement à des attaques ascosporées, on note :

- 1) Le côté d'apparition des premières nécroses, droit ou gauche ;
- 2) L'évolution de la nécrose sur chaque côté droit et gauche du limbe. Cette évolution est notée de telle façon (voir p.142) que le total obtenu pour chaque côté du limbe est d'autant plus faible que la nécrose est plus importante. Si l'on calcule le rapport G/D, ce rapport est inférieur à 1 quand l'attaque est plus grave à gauche, égal à 1 ou voisin de 1 quand l'attaque est sensiblement égale des deux côtés.

Les résultats sont indiqués dans le Tableau 22.

Le classement en diverses catégories de résultats est indiqué, dans le Tableau 23.

L'examen de ce tableau montre tout d'abord que nous nous trouvons en présence non pas de deux, mais de trois cas possibles : attaques plus fortes à gauche (rapport inférieur à 1), attaques identiques (rapport voisin de 1), attaques plus fortes à droite (rapport supérieur à 1). Les

symptômes apparaissent d'abord à gauche dans 15 cas, simultanément à gauche et à droite dans 4 cas, et d'abord à droite dans 9 cas. Nous envisagerons plus loin ce troisième cas. Nous voyons que les attaques débutent le plus souvent à gauche, ce qui est normal puisque nous savons que des ascospores se déposent sur le cigare, mais aussi que les attaques les plus graves se produisent également à gauche dans la proportion de deux cas pour un par rapport aux attaques équivalentes gauche-droite. Ce qui prouve bien qu'en bananeraie contaminée le transport latéral des ascospores joue également un rôle prédominant.

On ne doit pas oublier qu'il s'agit d'observations effectuées en bananeraie et que, dans ces conditions, le dépôt des ascospores n'est pas un phénomène continu et qu'il présente également des variations d'intensité. Ceci explique les attaques qui se manifestent d'abord à droite et avec une intensité plus forte sur ce même côté. On peut très bien envisager que, durant les premiers jours du déroulement d'une feuille, la libération des ascospores ait été faible, et qu'ensuite une pluie et un vent violent ont provoqué une très forte dispersion; dans ce cas seul, le côté droit ou gauche des limbes exposés au vent a reçu une quantité importante d'ascospores. Un tel mode de dispersion ne peut s'expliquer que par un transport latéral, et la présence d'attaques débutant à droite et présentant une gravité plus forte sur ce côté est un argument en faveur du transport latéral des ascospores.

3 - DISCUSSION.

Le fait principal résultant de l'étude du transport est la dissémination possible du parasite par transport latéral d'ascospores, tant à grande distance qu'à l'intérieur d'une bananeraie contaminée. Le rôle des ascospores dans le développement de la maladie, considéré comme mineur par de nombreux auteurs, prend ainsi une importance accrue, importance qui, dans des pays comme la Guinée où cette forme de reproduction est présente une grande partie de l'année, est certainement très supérieure à celle des conidies.

CONCLUSIONS

La libération des ascospores ne peut se produire que s'il y a présence d'eau sur la feuille; cette eau peut être apportée par des brouillards ou des rosées, mais, dans ce cas, la libération est faible, c'est la pluie qui est le facteur essentiel de la libération.

Après une première libération, il est nécessaire que la pluie s'arrête, puis reprenne à nouveau pour qu'une autre libération se produise.

Le transport des ascospores est essentiellement sous la dépendance du vent; celui-ci peut disséminer les ascospores à de grandes distances. Ce transport latéral est important, c'est le seul qui permette d'expliquer l'extension rapide de la maladie.

Les périodes de l'année les plus favorables à la dispersion du parasite seront donc celles où la pluie et le vent seront réunis.

Dans les conditions guinéennes, la conjonction de ces deux facteurs se trouve réalisée durant la période dite des tornades. Celles-ci se produisent principalement en avril-mai-juin et en septembre-octobre-novembre. Ces périodes sont donc celles où la dispersion atteindra son maximum.

CHAPITRE IV

RELATIONS ENTRE LE PARASITE ET L'HÔTE

Lorsque le parasite est parvenu au contact de l'hôte, plusieurs situations sont possibles :

- La spore n'est pas au contact d'un organe sensible. Elle germe ou non. Si elle germe, il n'y a pas de pénétration ;
- La spore est au contact d'un organe sensible, mais les conditions de milieu externe empêchent sa germination ;
- La spore germe, le tube germinatif pénètre, mais les conditions de milieu interne sont défavorables, aucun symptôme de la maladie ne se manifeste ; c'est le cas des variétés résistantes ;
- L'infection se produit et après un temps variable d'incubation les premiers symptômes apparaissent. On assiste alors aux manifestations successives de la maladie. Nous n'envisagerons que le cas où le parasite rencontre des conditions favorables à son développement.

On distingue les stades suivants :

A. L'inoculation. - Certains auteurs appellent cette phase du cycle infection (KERN, 1956), d'autres contamination (VIENNOT-BOURGIN, 1961). C'est la période durant laquelle le parasite se développe à l'extérieur de l'hôte puis pénètre dans celui-ci ;

B. L'incubation. - C'est la période où le parasite croît à l'intérieur des tissus. On admet généralement qu'elle suit immédiatement la pénétration et qu'elle se termine avec la manifestation des premiers symptômes ;

C. La manifestation des symptômes. - Celle-ci débute avec les premiers symptômes et peut évoluer progressivement jusqu'à la destruction totale ou partielle de l'hôte. C'est au cours de cette période qu'apparaissent les différentes formes de reproduction qui permettent la dispersion des parasites et la continuité du cycle.

Ces trois étapes des relations du parasite et de l'hôte ont été bien étudiées en ce qui concerne la forme conidienne ; nous n'envisagerons donc que l'étude de la forme ascosporee.

A - INOCULATION

Cette phase de la maladie comprend deux phénomènes successifs : la germination des ascospores puis la pénétration de leurs filaments germinatifs.

1 - LA GERMINATION DES ASCOPORES

Lorsque les ascospores sont placées dans des conditions convenables, elles se gonflent très rapidement (2 heures) et émettent un tube germinatif. Cette émission se produit généralement par les deux extrémités de l'ascospore qui, rappelons-le, est bicellulaire ; cependant un certain pourcentage de spores n'émet qu'un seul filament. Avant de pénétrer à l'intérieur des tissus, le filament germinatif croît lentement durant 3 à 6 jours selon les conditions de température et d'humidité ; c'est seulement après ce délai qu'on observe au-dessus d'un stomate un renflement de l'hyphe mycélienne signe précurseur de la pénétration, qui s'effectue uniquement par les stomates.

TABLEAU 24

Germination des ascospores en bananeraie

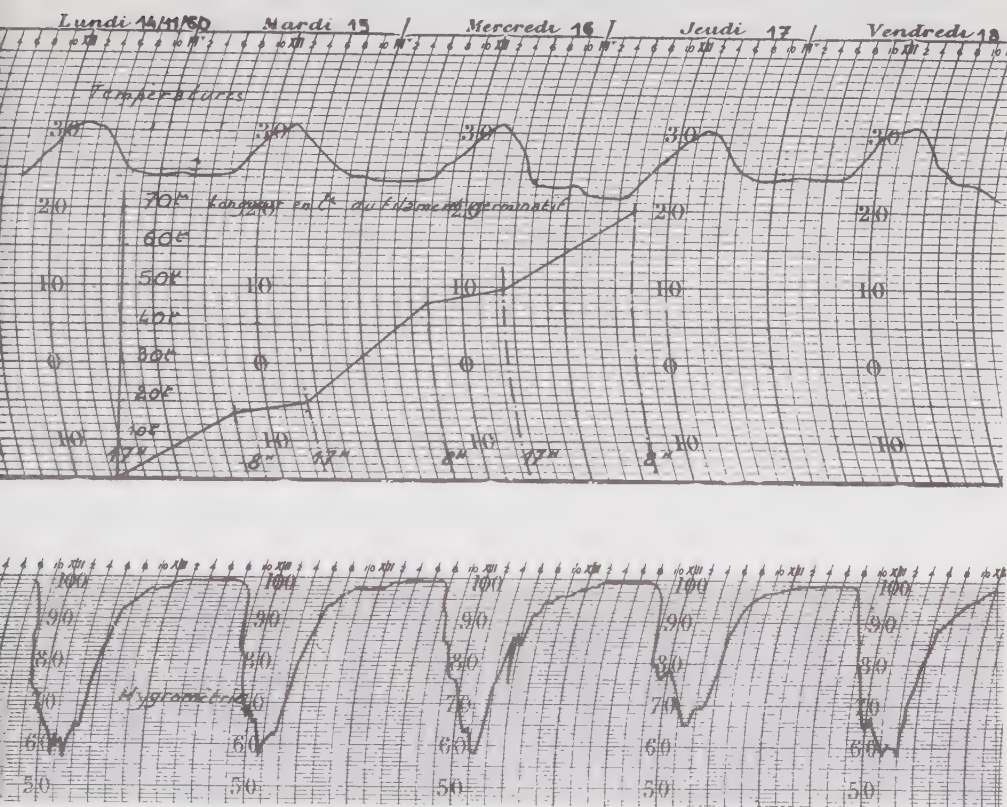
Dates et heures d'observations	Durée en h.	Longueur moyenne en μ des filaments germinatifs (sur 200 ascospores)
I - SERIE MISE EN PLACE LE 14/11/1960 à 17 HEURE		
14/11 à 17 h. (mise en place)	0	0
15/11 à 8	15	15,2
- 17	24	17,8
16/11 8	39	46,3
- 17	48	49,8
17/11 8	63	71,6
II - SERIE MISE EN PLACE LE 23/11/1960 à 17 HEURE		
23/11 à 17 h.	0	0
24/11 8	15	25,8
- 17	24	32,8
25/11 8	39	56,6
- 17	48	59,3
26/11 8	63	69,3
III - SERIE MISE EN PLACE LE 27/11/1960 à 8 HEURE DU MATIN		
27/11 à 8 h.	0	0
27/11 17	9	Pas de développement
28/11 8	24	37,8
- 17	33	39,6
29/11 8	48	59,8
- 17	57	64,5

L'examen de cigares ou de jeunes feuilles permet d'observer en place de nombreuses ascospores en train de germer ; nous avons cherché à préciser de cette façon les conditions de la germination.

Protocole.- Après avoir déposé des ascospores sur des cigares aux stades C et D (voir p. 138) le matin et le soir, nous avons observé le déroulement de la germination (voir Tableau 24).

L'examen des chiffres du Tableau 24 Série III montre que durant le jour la germination est nulle. Lorsque la germination a eu lieu, l'allongement du filament germinatif est très faible durant la journée (Fig. 23) et se produit presque uniquement la nuit. Différentes hypothèses permettent

Fig. 23 - Croissance du filament germinatif dans les conditions naturelles.



d'expliquer cette suspension de l'allongement durant la journée : action de la lumière, de la température, de l'état hygrométrique ; nous avons cherché à préciser ces différents points par des études réalisées au laboratoire.

Dans les études sur la germination, nous avons utilisé comme critère la croissance du filament germinatif sur un fragment de feuille durant 24 heures ; cette méthode appelle certaines remarques.

On peut évaluer la germination selon deux critères :

- Le pourcentage de germination observé,
- L'allongement du filament germinatif.

En ce qui concerne *M. musicola*, il s'avère qu'au moment où elles sont libérées des périthèces, les ascospores sont aptes à germer immédiatement, sans aucune période de dormance, lorsque les conditions de milieu sont favorables. Le critère du pourcentage de germination pour évaluer celle-ci n'est donc utilisable que dans le cas de conditions externes limitantes.

Le second phénomène, l'allongement du filament, est le critère qui a été retenu dans la plupart de nos observations. Cependant, pour que la mesure de la longueur du filament germinatif dans un temps déterminé soit un critère valable, il est nécessaire que l'ensemble des germinations débutent au même moment ou presque, de manière que les chiffres obtenus soient comparables entre eux et que nos observations ne reflètent pas le résultat d'allongements de filaments pendant des temps différents.

L'essai suivant montre qu'au bout de 24 heures, temps qui sera retenu dans la plupart de nos essais, le très léger décalage observé au démarrage de la germination ne joue plus sur les résultats obtenus. Essai réalisé à 26° - 28° C, humidité relative à saturation.

<u>Durée entre la libération et l'observation</u>	<u>Pourcentage de spores germées</u>	
	<u>sur feuilles</u>	<u>sur gélose</u>
2 heures	82 %	80 %
3 heures	93 %	90 %
4 heures	95 %	93 %
5 heures	98 %	98 %
6 heures	98 %	98 %

Une difficulté intervient dans l'interprétation des mesures ; il existe un pourcentage variable d'ascospores germant par une seule extrémité. Lorsque le filament germinatif est unique, il est généralement plus long qu'un des deux filaments pris isolément, mais plus court que la somme des deux. Ces ascospores sont écartées des calculs, sauf évidemment dans le cas où nous utilisons le critère du pourcentage des spores germées ; dans ce cas nous totalisons les spores à 1 germination (1 G) et à 2 germinations (2 G).

a) Action de la température sur la germination

Etude de la germination sur support artificiel

Protocole.- Les ascospores sont déposées sur des lames gélosées qui sont placées dans des boîtes de Pétri, sur papier-filtre humide destiné à maintenir l'humidité à un niveau élevé et constant. La température est de $27^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ au cours de l'essai. On mesure au bout de 24 heures l'allongement des filaments germinatifs. Les résultats sont notés dans le Tableau 25.

TABLEAU 25

Allongement des filaments germinatifs à $27 \pm 1^{\circ}\text{C}$ sur gélose

Temps écoulé après la libération	Longueur moyenne en μ des filaments germinatifs (deux répétitions)	
2 h	4	4
3 -	6	7
4 -	11	9
5 -	16	16
6 h 30	27	24
9 -	47	33
12 -	50	49
18 -	58	82
24 -	112	116
28 -	155	180
30 -	245	232
48 -	302	305

(2 répétitions, 200 ascospores par mesure)

L'examen des chiffres obtenus permet de préciser que :

- Le démarrage de la germination se produit très vite, 2 heures après que les ascospores sont placées sur la gélose ;
- La croissance est beaucoup plus rapide que pour les filaments germinatifs des conidies : 5μ au bout de 12 heures (d'après CALPOUZOS, 1955) contre 50μ pour les ascospores.

Discussion.- L'examen de la Fig. 24 montre que la croissance est irrégulière. Assez lente durant les premières 24 heures, elle devient ensuite rapide entre 24 et 30 heures, puis ralentit. L'aspect de la courbe dans les premières 48 heures rappelle celle obtenue par ROSEN et RYAN (1960) dans l'étude de la croissance des jeunes cultures de *Neurospora crassa* ; ces auteurs pensent qu'une des hypothèses possibles pour expliquer ce type de développement est la présence à la surface des spores de substances solubles dans la gélose et inhibant la croissance.

Un fait viendrait à l'appui de cette hypothèse ; c'est que sur un fragment de feuille où la diffusion d'une telle substance semble difficile,

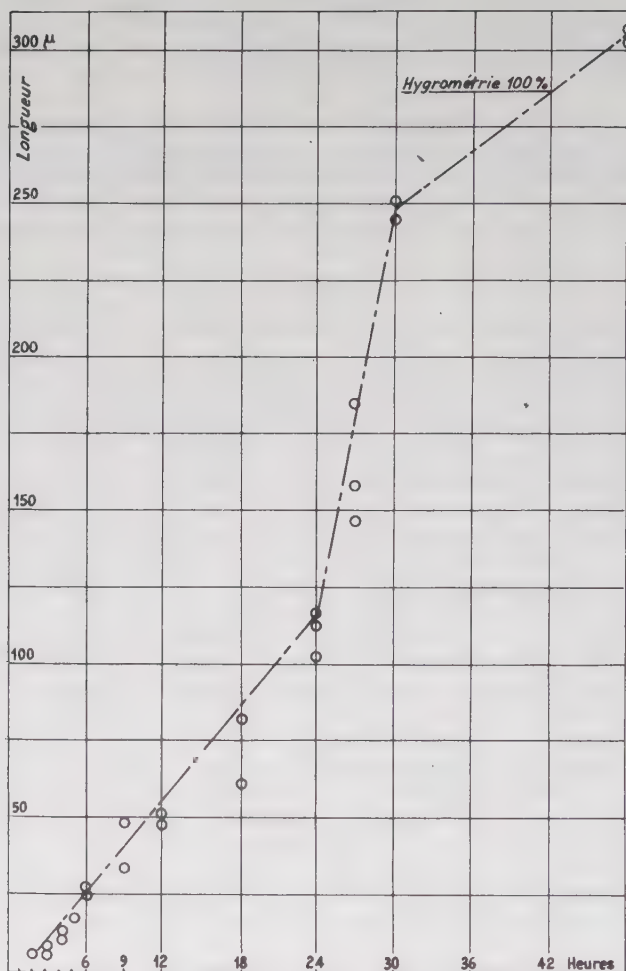


Fig. 24 - Croissance à température constante à $27 \pm 1^\circ \text{C}$, sur gélose durant 48 heures.

la croissance ne présente pas ce palier (voir Fig. 27). LEACH (1946) estime quant à lui que, pour les conidies, la croissance sur gélose devient "anormale" après 24 heures. Notons qu'à partir de 48 heures nous avons observé sur des filaments germinatifs issus d'ascospores des déformations caractérisées par une division plus fréquente des hyphes, un gonflement des articles et l'apparition des grosses vacuoles (Fig. 25).

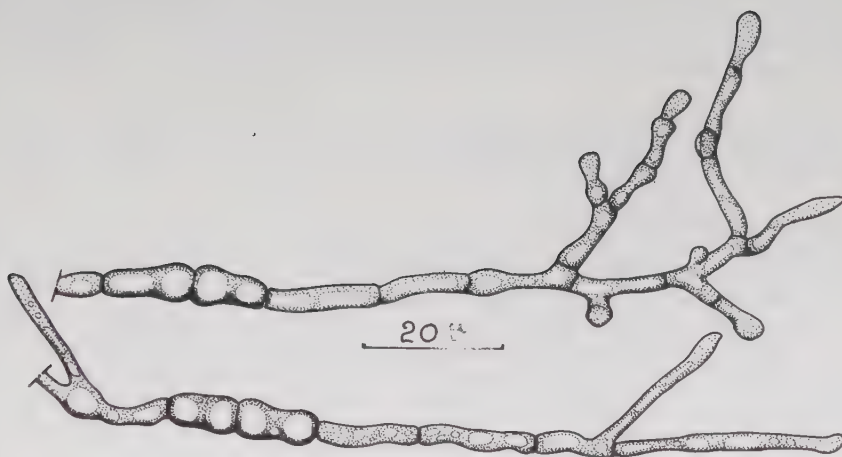


Fig.25 - Déformations observées sur des filaments germinatifs après 48 heures de croissance sur lames gélosées.

Etude de la germination sur fragments de feuille

A la suite des "anomalies" constatées dans la croissance du filament germinatif sur gélose, nous avons réalisé nos essais de germination sur des fragments de jeunes cigares maintenus en atmosphère saturée d'humidité. Cependant les fragments de feuille doivent être choisis dans des positions semblables, de façon à éviter l'emploi d'un milieu hétérogène ; nous avons été amené à réaliser un certain nombre d'essais préliminaires afin de tester les qualités des diverses parties du limbe en tant que support et d'établir une règle dans le choix des fragments.

Essais préliminaires

Dans l'ensemble de ces essais, les conditions de température (24° - 26° C), d'humidité relative (saturation obtenue par la présence d'un papier-filtre humide dans une enceinte fermée) et d'éclairement (éclairage artificiel), sont identiques. Les seuls facteurs variables possibles proviennent de la feuille. La croissance est estimée par la mesure de la longueur des filaments germinatifs après 24 heures.

Position du fragment sur la feuille. - Nous avons provoqué des germinations d'ascospores sur des fragments de feuille prélevés soit au sommet, soit au milieu, soit à la base d'un demi-limbe.

Trois répétitions sont effectuées, et 100 ascospores germées mesurées dans chaque cas.

L'analyse statistique montre qu'il n'y a aucune différence significative dans la croissance du filament germinatif, quelle que soit la position du fragment de feuille sur un côté du limbe. (Le rapport des variances entre traitements est de 3,033, $F = 3,49$ au point 5 %).

Age de la feuille.- Les fragments de limbe sont prélevés au sommet sur des feuilles d'âges différents :

- a) Cigare non déroulé,
- b) Feuille en position 1 (1ère feuille après le cigare),
- c) Feuille en position 4 (4ème feuille après le cigare).

Il existe une différence entre a (moyenne 80 μ) et b et c (moyennes 62 μ et 64 μ). Cette différence dans les conditions de notre essai est significative au point 5 %. On peut donc admettre que la croissance est légèrement plus rapide sur le cigare que sur les feuilles déroulées.

Turgescence des feuilles.- Dans cet essai les ascospores sont déposées :

- Sur des fragments turgescents de jeunes cigares prélevés en bananeraie, le matin à 9 h avant la disparition de la rosée ;
- Sur des fragments de position identique aux précédents récoltés au même moment, mais qui sont laissés au laboratoire jusqu'à 15 h ce qui diminue considérablement leur turgescence car l'atmosphère y est moins humide (80 % environ d'humidité relative).

Les deux catégories de fragments sont après le dépôt des ascospores placées dans les conditions habituelles. La longueur des filaments germinatifs est comparée après 24 heures. Nous n'avons noté aucune différence significative (au test de t.).

Côté du limbe.- Des fragments sont prélevés sur le côté droit et sur le côté gauche de la feuille. L'examen des filaments germinatifs des ascospores déposées sur chacun de ces côtés montre qu'il existe une différence significative ; la longueur des filaments est légèrement supérieure pour le côté droit ($t. 2,26 : p = 0,03$).

Ces résultats ne sont pas surprenants après ceux obtenus dans l'essai faisant intervenir l'âge de la feuille. On peut admettre en effet que le côté droit qui se déroule après le gauche est physiologiquement plus jeune.

Face de la feuille.- Des germinations ont été effectuées sur la face supérieure et sur la face inférieure. Nous n'avons pas noté de différence significative.

A la suite de cette série de tests, nous avons toujours prélevé les fragments (carrés d'environ 10 cm $\times$ 10 cm) destinés aux essais sur le

côté droit d'un jeune cigare au stade C (voir p. 138). A ce stade le limbe est mince et permet une observation aisée sous le microscope à travers les tissus de la feuille.

Etude de la germination sur fragments de feuille de bananier
à température constante : $27^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$

Protocole.— Les ascospores sont déposées sur des fragments de cigare qui sont placés dans des boîtes de Pétri, en atmosphère saturée et à des températures de 26° à 28°C . La germination a lieu sans présence d'un film d'eau. On mesure la longueur des filaments germinatifs après des temps variables (Fig. 26). Les résultats sont résumés dans le **Tableau 26**.

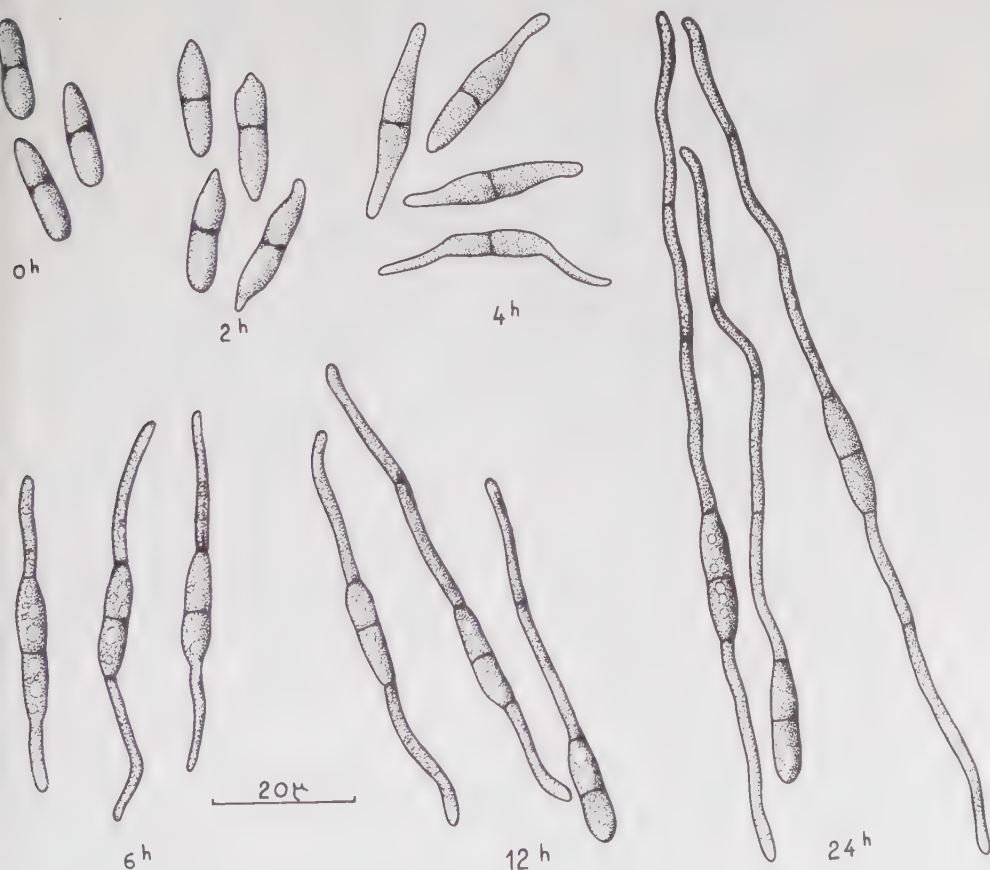


Fig. 26 - Germinations d'ascospores sur fragments de feuilles de bananier. Développement des filaments germinatifs après des temps variables.

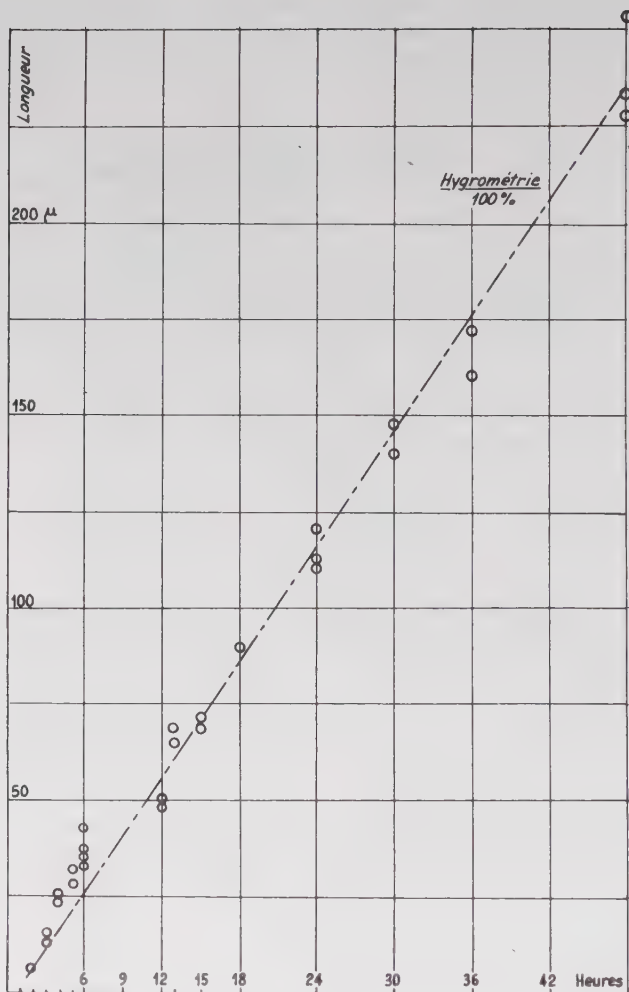


Fig. 27 - Croissance à température constante à $27 \pm 1^\circ\text{C}$, sur fragment de feuille durant 48 heures.

La germination débute sur feuille aussi rapidement que sur gélose et la vitesse de croissance des filaments germinatifs est comparable durant les premières heures, mais on ne constate pas sur feuille la brusque "poussée" observée sur gélose après 24 heures (Fig. 27) ; d'autre part, on n'observe pas non plus les "anomalies" visibles à partir de 48 heures sur milieu artificiel. On peut admettre que durant 48 heures au moins la croissance des filaments germinatifs se poursuit normalement sur des fragments de limbe détachés de la feuille.

TABLEAU 26

Allongement des filaments germinatifs sur feuille
de bananier à $27 \pm 1^\circ\text{C}$

Temps écoulé après le dépôt des ascospores	Longueur en μ des filaments germinatifs		
	a	b	c
2 h	6	5	7
3 -	16	13	
4 -	24	26	
6 -	43	37	36
12 -	50	58	
13 -	65	69	
15 -	69	71	
18 -	90	92	
24 -	113	120	111
30 -	140	148	
36 -	160	172	
48 -	234	255	228

(2 ou 3 répétitions - 200 ascospores par durée testée et par répétition).

Etude de la germination sur fragments de feuille de bananier à des températures différentes (de 8° à 39°C)

Techniques.— Pour obtenir les différentes températures nécessaires à la réalisation de cet essai, nous utilisons des petites enceintes chauffantes ($20 \times 20 \times 30$ cm) contenant 4 boîtes de Pétri, placées à l'intérieur d'un réfrigérateur. Le chauffage des enceintes est réalisé à l'aide d'une ampoule de 10 watts. Le réglage s'effectue à l'aide d'un thermostat. Le contrôle de la température est obtenu par thermomètre enregistreur. Les variations observées sont de l'ordre du demi-degré, ce qui est normal avec le montage utilisé.

Les ascospores sont déposées sur les fragments de feuille, et ceux-ci sont placés dans des boîtes de Pétri où l'humidité est maintenue à saturation. Nous n'avons jamais observé de différences significatives entre la croissance de filaments germinatifs sous un film d'eau, ou sans présence d'eau liquide mais en atmosphère saturée.

Pour chaque température étudiée, on effectue quatre répétitions; pour chacune d'elles 100 mesures sont effectuées. Les résultats sont exprimés :

- En longueur moyenne des filaments germinatifs en μ au bout de 24 heures, calculée en mesurant les ascospores ayant germé par les deux extrémités (Fig. 28) ;
- En pourcentage des ascospores germées au bout de 24 heures (1G + 2G) (Fig. 29).

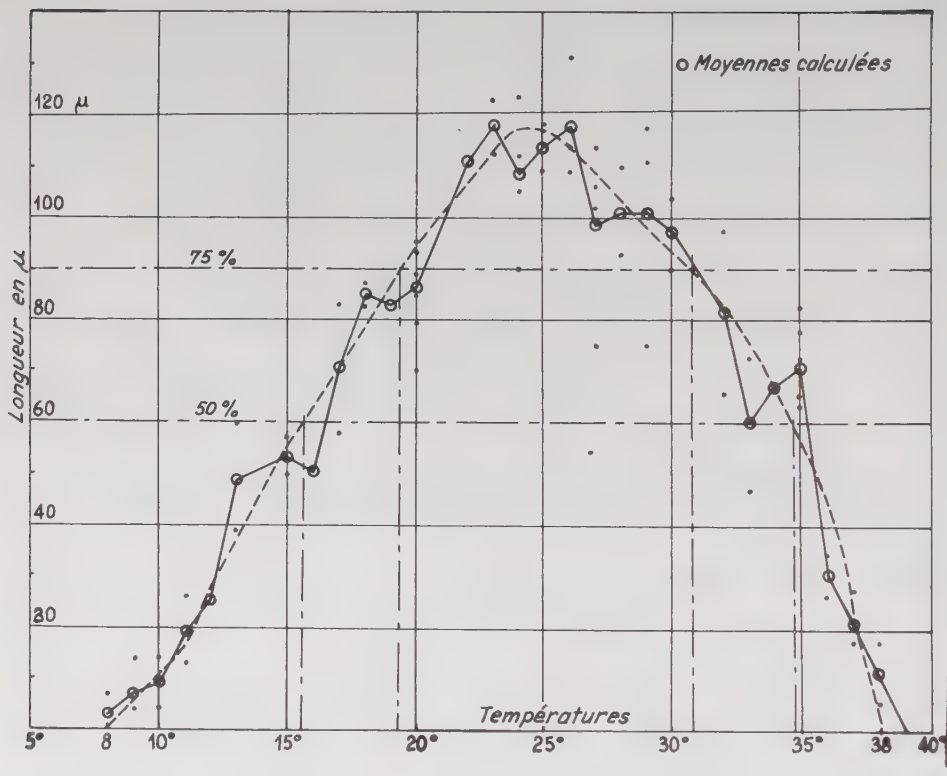


Fig. 28 - Croissance des filaments germinatifs après 24 heures, en fonction de la température.

On peut tirer les conclusions suivantes de cet essai :

Longueur des filaments germinatifs.— Les ascospores émettent des filaments germinatifs entre 8 $^{\circ}$ et 38 $^{\circ}$ C en atmosphère saturée d'humidité. Les filaments germinatifs atteignent leur longueur maximale (112 μ) pour une durée de 24 heures à la température de 25 $^{\circ}$ C. Si l'on considère qu'une longueur de 85 μ représente une germination équivalente à 75 % du maximum, nous constatons qu'un tel développement du filament germinatif est obtenu à partir de 20 $^{\circ}$ C, et qu'on retrouve ce même allongement à 30 $^{\circ}$ C. Si l'on applique le même raisonnement à une longueur de 55 μ représentant la moitié du développement maximal encore suffisant pour assurer le succès des infections, les températures-limites nécessaires à ce développement sont de 16 $^{\circ}$ et 33 $^{\circ}$ C.

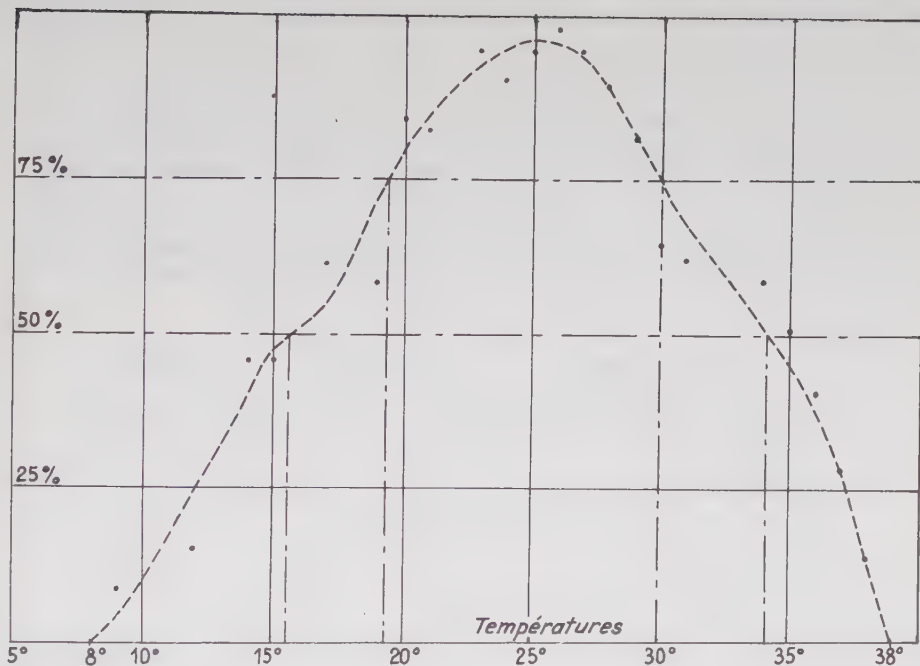


Fig.29 - Pourcentages de germination (1G+2G) après 24 heures en fonction de la température.

Pourcentage de germination.- Les résultats obtenus sont très semblables à ceux concernant l'allongement du filament germinatif. Le pourcentage maximum de spores germées se situe à 25° C (99,8 % des spores observées). Un pourcentage de 75 % de germination est atteint à 19° C et se retrouve à 29° C et le seuil 50 % à 14° C et à 34° C. Les extrêmes, 8° et 38° C, restent évidemment les mêmes.

Discussion

La germination des ascospores est possible entre 8° et 38° C ; l'optimum se situe aux environs de 25° C. A la lumière des résultats obtenus on peut établir une intéressante comparaison avec ce que nous connaissons de la germination des conidies.

Les températures optimales concernant le développement des filaments germinatifs des ascospores sont dans l'ensemble assez voisines de celles des conidies ; il est toutefois difficile d'opérer des rapprochements car les seuls documents traitant de cette question sont fournis par CALPOUZOS (1955) et cet auteur donne peu de précisions : il indique que la germination

des conidies est possible entre 15° et 35° C. Les autres chiffres que nous possédons se rapportent à la croissance du mycélium en culture ce qui ne permet pas de comparaison. Toutefois nous savons maintenant que les ascospores germent à partir de températures plus basses et jusqu'à des températures plus élevées.

Si nous comparons les chiffres de pourcentage de germination des ascospores à ceux donnés par CALPOUZOS (loc. cit.) concernant les conidies, on observe pour les ascospores un décalage très net vers les températures plus élevées ; en effet, à 37° C on note 28 % pour les ascospores et 0 % pour les conidies ; au contraire à 15° C les pourcentages sont respectivement de 46 % et 90 %. Les températures atteintes dans les régions tropicales semblent donc être plus favorables aux ascospores qu'aux conidies (Tableau 27).

TABLEAU 27

Pourcentages respectifs de germinations pour les conidies
et les ascospores aux mêmes températures

Températures en degrés C	Conidies * en p.cent	Ascospores en p.cent
8	-	0
10	-	10
15	90	46
20	100	85
25	100	100
30,5	90	74
32,5	66	62
35	65	51
37	0	28
38		0

* Chiffres obtenus après 48 heures de germination.

Les pourcentages indiqués par les ascospores sont obtenus après seulement 24 heures.

Un autre tableau, le Tableau 28, traite non plus des pourcentages de germination, mais de la longueur des filaments germinatifs. Ces chiffres sont obtenus à une température de 27° ± 1° C.

TABLEAU 28

Comparaison de la rapidité de germination entre
conidies et ascospores

Temps écoulé en heures	Longueur du filament germinatif	
	Conidies (en μ)	Ascospores (en μ)
2	aucune modification	6,5
4	morphologique	25
6		35
9	gonflement des articles	50 env.
12	5	67
24	moins de 70 μ	110

On constate donc que :

- Les températures optimales concernant la germination des conidies et des ascospores sont voisines ;
- Les ascospores exigent des conditions moins strictes que les conidies en ce qui concerne les températures minimales et maximales entre lesquelles la germination reste possible. Toutefois à l'intérieur de ces limites les pourcentages de germination des ascospores sont plus importants aux températures plus élevées ;
- Le processus de germination débute beaucoup plus rapidement pour les ascospores que pour les conidies ;
- La vitesse de croissance des filaments germinatifs est beaucoup plus élevée pour les ascospores.

b) Action de l'état hygrométrique sur la germination

Etude de la germination en atmosphère saturée et dans les conditions variables d'humidité du laboratoire

Une première série d'essais qui nous a permis d'observer le rôle joué par l'état hygrométrique est basée sur la comparaison de la vitesse de développement du filament germinatif en atmosphère saturée et dans les conditions du laboratoire.

Protocole.- Des ascospores sont déposées sur des fragments de feuilles. Les unes (lot A) sont laissées durant 5 jours dans une enceinte où l'humidité relative est de 100 % tandis que les autres (lot B) sont, pendant chaque période de 24 heures, placées successivement à 100 % d'humidité relative pendant 15 heures (de 18 h à 9 h le lendemain matin), puis à une humidité relative de 88-95 % pendant 9 heures (de 9 h à 18 h). La température est maintenue à $27^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$.

TABEAU 29

Vitesse d'allongement des filaments germinatifs
(exprimée en μ)

	A (humidité à saturation)	B (humidités variables)
24 h.	122	95
48 -	248	122
72 -	399	185
96	580	275
120	620	310

Les mesures portent sur la longueur des filaments germinatifs de 200 ascospores dans chaque série, à l'issue de chaque période de 24 heures. Elles sont exprimées dans le Tableau 29 et la Fig. 30.

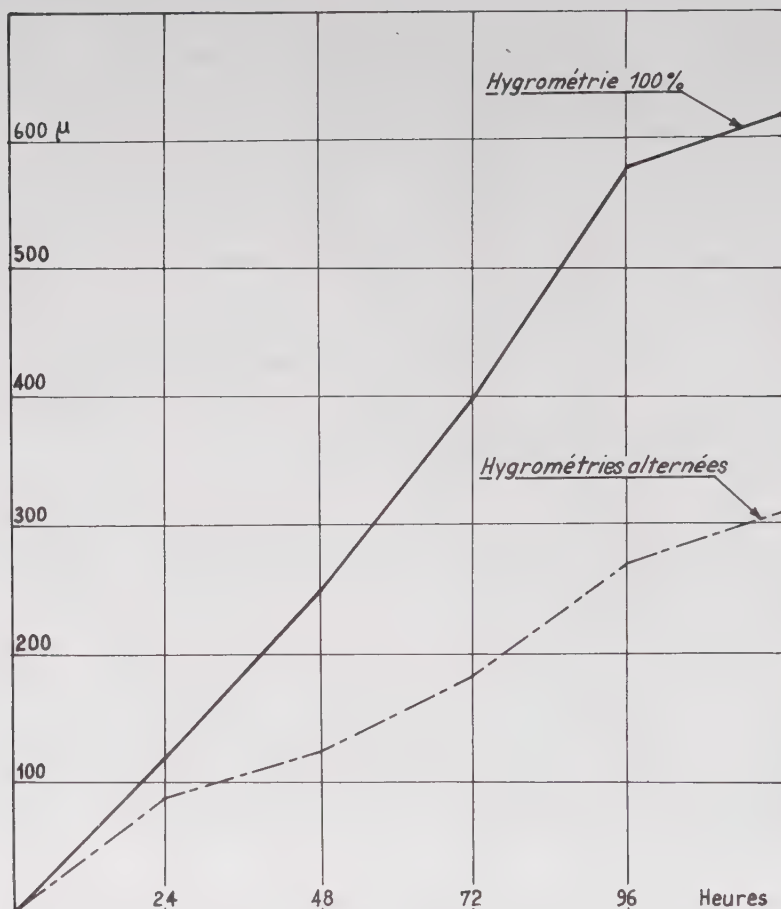


Fig.30 - Vitesse de croissance du filament germinatif durant 120 heures, en atmosphère constamment à saturation et en atmosphère où l'état hygrométrique varie : 100 % durant 15 heures, 88-95 % durant 9 heures.

Les chiffres obtenus montrent qu'une hygrométrie à saturation maintenue de façon constante favorise l'allongement du filament germinatif par rapport à des états hygrométriques variables : alternance de saturation et de pourcentages d'humidité légèrement inférieurs. Les différences considérables obtenues pour des diminutions relativement faibles (minimum 88 %) indiquent le rôle important joué par l'humidité atmosphérique dans

la germination. Ceci nous a amené à étudier l'effet d'états hygrométriques divers.

Etude de la germination sous l'effet de divers états hygrométriques

Des ascospores sont déposées sur des fragments de cigare, selon le processus habituel. Les fragments sont placés dans des enceintes où règnent des états hygrométriques s'échelonnant de 31 à 98 % d'humidité relative.

Protocole. — Les degrés hygrométriques choisis sont obtenus en utilisant des mélanges saturés de différents sels et d'eau :

Mélange eau + Cl_2Ca	31%	d'humidité relative à 25° C
" + $\text{C O}_3 \text{K}_2$	43%	" " à 25° C
" + NaCl O_3	75%	" " à 20° C
" + $\text{Na}_2\text{S O}_3$	95%	" " "
" + $\text{S O}_4 \text{Cu}$	98%	" " "
Présence d'eau (filtre imbibé)	100%	" " "

Pour obtenir les pourcentages que nous venons d'indiquer (Handbook of Chemistry, 1955), il est nécessaire d'avoir un très gros excès de phase solide maintenu en contact avec la phase liquide de chaque solution. Une simple solution saturée ne suffit pas à amener l'humidité relative au degré désiré.

Les résultats obtenus sont exprimés dans le Tableau 30 en longueur moyenne des filaments germinatifs après 24 heures.

TABLEAU 30

Vitesse d'allongement des filaments germinatifs sur feuille de bananier à des états hygrométriques variés

Humidité de l'air exprimée en p.cent de la saturation	Longueur moyenne des filaments germinatifs exprimée en μ
100	88
98	54
94	24
75	pas de germination
51	-
24	-

Ces chiffres nous permettent de constater que la germination est importante pour des états hygrométriques de 100 % et de 98 %. Dès 95 %, non seulement les filaments germinatifs sont plus courts, mais il se produit des anomalies : gonflement des hyphes, filaments plus gros, etc.

On peut penser que la transpiration de la feuille provoque un micro-climat à sa surface ; aussi avons-nous répété cet essai en utilisant des lames de verre sèches comme support.

Les résultats sont indiqués dans le Tableau 31 (moyenne pour 200 ascospores) : durée de l'essai, 24 heures.

TABLEAU 31

Vitesse d'allongement des filaments germinatifs sur lame de verre, à des états hygrométriques variés

Humidité de l'air exprimée en p.cent de la saturation	Longueur moyenne des filaments germinatifs exprimée en μ
100	139
98	115
94	41
75	pas de germination
51	-
24	-

On peut donc conclure que la germination des ascospores reste possible jusqu'à une humidité relative voisine de 95 %.

CALPOUZOS (1955) a démontré qu'en ce qui concerne les conidies il ne pouvait y avoir germination sans présence d'eau liquide, même en atmosphère saturée ; or nous venons de voir que pour les ascospores une humidité relative de 95 % est suffisante. Ce point est important car en bananeraie le nombre d'heures où un état hygrométrique de 95 % est atteint est beaucoup plus élevé que celui où l'on constate la présence d'une pellicule d'eau sur la feuille.

c) Action de la lumière sur la germination

Une seule série d'essais a été réalisée dans le but d'étudier l'action de la lumière sur la vitesse de développement des filaments germinatifs.

TABLEAU 32

Action de la lumière sur la germination des ascospores

N°	Longueur des filaments germinatifs en μ	
	Conditions normales	Obscurité
1	108	97
2	101	112
3	98	104
4	114	118
5	111	102
6	104	109

TABEAU 33
Météorologie: Moyenne pour les années 1948 à 1959
Centre guinéen de recherches fruitières, Kindia

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	totaux
PLUVIOSITE 1948 - 1959													
Nombre de jours	0,9	0,5	2,8	5,3	13,6	19,3	26,0	29,3	25,0	28,0	8,8	1,9	154,2
Hauteur en mm	8,1	3,1	34,5	50,7	186,2	278,5	376,2	518,1	346,4	273,9	79,3	20,0	2.175,0
TEMPERATURES 1949 - 1959													
en degrés centigrades (sous abri)													
Maxima absolus	38	38	40,1	38,2	37,5	33,6	31,5	31	31,5	32,2	32,8	32,6	
Minima absolus	8	9	9	14	14	14	14	15	16	14,5	12	9,2	
Max. moy. mens.	31,84	33,55	34,62	34,42	32,08	29,53	27,64	26,58	28,48	29,25	29,80	30,33	
Min. moy. mens.	16,11	17,01	18,75	20,04	20,27	19,85	19,91	20,28	20,49	19,78	19,55	16,47	
HYGROMETRIE 1949 - 1959													
Fh p. cent à 8 h.	94,7	94,2	92,5	92,5	93,1	95,5	96,6	96,9	96,7	96,7	96,9	96,1	
En p. cent à 18 h.	46	38,8	42,8	50,8	66,1	76	84,5	89,1	84,3	77,4	73,2	56,9	
EVAPORATION Dep. Juin 1955													
Fh mm totale	98,5	108,4	131,7	120,7	72,9	42,9	29,3	25,7	33,5	43,8	45,9	75,0	828,3
Journalière	3,2	3,8	4,2	4	2,3	1,4	0,9	0,8	1,1	1,4	1,5	2,4	
INSOLATION Dep. Sept. 1959													
Fh heures	225	217,22	257,13	210,08	190,45	145,48	78,32	57,43	112,32	185,21	167,58	205,44	2.054,08

Protocole.- On place, par la méthode habituelle, des ascospores sur des fragments de cigare. Les conditions de température (26° C) et l'état hygrométrique (saturation) étant identiques, on fait deux lots, dont l'un soumis aux conditions normales d'éclairement (alternance jour et nuit), tandis que l'autre est placé à l'obscurité : boîtes de Pétri enveloppées dans un papier opaque. On observe au bout de 24 heures.

Les résultats de cet essai, reportés dans le Tableau 32, ne permettent pas de conclure à une action de la lumière sur la vitesse de développement des filaments germinatifs.

d) Conclusions

A la suite des essais effectués au laboratoire, nous pouvons maintenant mieux comprendre le mécanisme de la germination dans les conditions naturelles. Nous avons suggéré trois hypothèses correspondant à l'action de trois facteurs physiques pour expliquer l'arrêt de la croissance dans la journée. Le facteur lumière peut être écarté, de même que le facteur température car, dans les conditions naturelles envisagées, la température variait entre 24° et 31° C, ce qui aurait permis un développement important du filament germinatif. Le facteur limitant est donc l'humidité de l'air.

Dans les conditions guinéennes l'état hygrométrique est en effet le principal facteur limitant la germination durant la journée. Cette limitation diurne joue la plus grande partie de l'année; durant la nuit les humidités relatives sont constamment favorables. La température n'est limitante la nuit que durant les mois froids de l'année et la journée durant les mois les plus chauds. Les températures minimales se situent en décembre-janvier. Les maxima sont le plus souvent en mars-avril (voir Tableau 33 : Relevés météorologiques au Centre guinéen de Recherches fruitières).

2 - LA PÉNÉTRATION DES FILAMENTS GERMINATIFS

La seconde phase de l'inoculation est la pénétration. Elle fait suite à la germination et débute au moment où le filament germinatif s'introduit dans les tissus de l'hôte. Dans le cas de *M. musicola* la pénétration se produit uniquement par les stomates. Il est un autre point qu'il est nécessaire de préciser. La plupart des auteurs qui ont étudié la Cercosporiose admettent que seules la plus jeune ou les deux feuilles les plus jeunes sont sensibles à la maladie. L'étude de l'apparition des symptômes semble confirmer ces faits, de même les notions classiques sur le transport des formes de reproduction ; cependant nous avons vu au chapitre précédent que les ascospores peuvent être déposées sur l'ensemble du feuillage (voir Essai Transport par le vent - p. 64). L'observation directe sur les feuilles âgées est beaucoup plus délicate que sur jeunes feuilles ; on peut néanmoins y déceler des ascospores en cours de germination. L'étude de cet aspect de la germination sera faite après que nous aurons étudié la pénétration sur de jeunes feuilles.

a) Pénétration dans les conditions naturelles

Cigare et jeunes feuilles

Si l'on observe au microscope des pénétrations sur des fragments de jeunes feuilles prélevées en bananeraie, on constate que :

- La pénétration des filaments germinatifs issus d'ascospores s'effectue le plus généralement à partir de la face inférieure. Sur cette face les stomates sont beaucoup plus nombreux (p. 179). Dans le cas de transport par ascendance verticale le dépôt a lieu sur la face inférieure, et lors du transport latéral c'est encore sur cette face que les ascospores sont déposées : sur les jeunes feuilles dressées la face inférieure est à l'extérieur ;

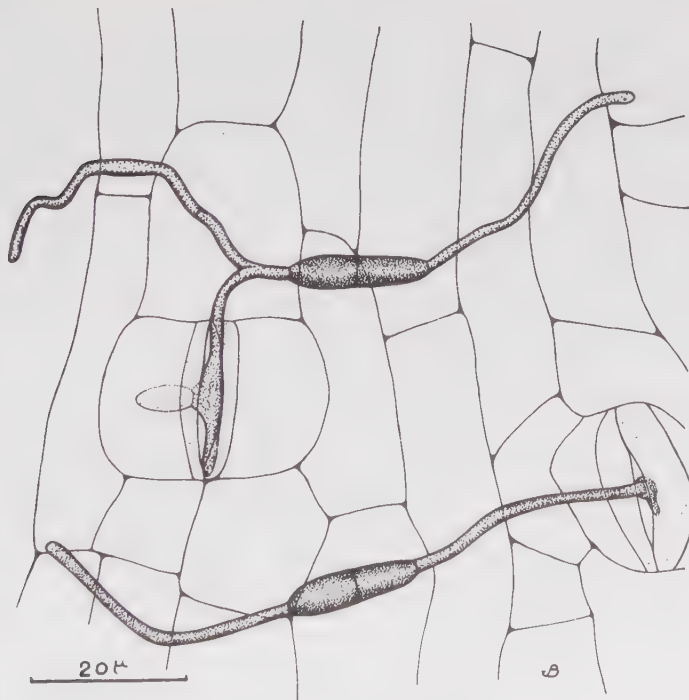


Fig.31 - Pénétration de filaments germinatifs issus d'ascospores.

- Les ascospores émettent rapidement un filament germinatif robuste de 2 μ environ de diamètre. Ce filament se développe à la surface de la feuille durant 2 à 3 jours et ensuite pénètre dans la chambre sous-stomatique (Fig. 31). La pénétration n'est pas liée à un allongement du filament jusqu'à se rencontre avec un ostiole : en effet, au début il arrive fréquemment que le tube germinatif franchisse un stomate sans y pénétrer, et ensuite, après une soixantaine d'heures, qu'il émette un diverticule qui se dirigera directement sur le stomate le plus proche. L'émission d'un tel diverticule n'est pas non plus obligatoire. On peut admettre, sans que la raison en soit connue, que durant soixante heures environ le filament germinatif est incapable de pénétrer dans les stomates.

Nous avons cherché à préciser en bananeraie si ce laps de temps nécessaire pour que la pénétration puisse se produire était un phénomène constant.

Dans ce but, une série d'observations a été effectuée à partir de dépôts d'ascospores. Les résultats sont groupés dans le Tableau 34.

TABLEAU 34

Etude de l'intervalle de temps entre la germination
et la pénétration en bananeraie

	Temps écoulé en heures	Pourcentage de pénétrations (sur 200 ascospores pour chaque durée observée)
Essai 1	48	0
	72	(mois de novembre) 78
	96	90
Essai 2	96	64
	110	(mois de juillet) 85
	134	96
Essai 3	40	0
	48	0
	64	(mois de juillet) 0
	72	54
	96	94
Essai 4	48	0
	72	(mois de juillet) 64
	88	92
Essai 5	48	0
	64	36
	72	(mois de novembre) 61
	88	78
	184	87

Il semble donc que la pénétration ne commence jamais avant 48 heures et qu'en saison sèche (novembre) elle démarre un peu plus rapidement

qu'en saison des pluies (juillet). En pratique, la pénétration débute le matin de la 3ème journée, quelle que soit l'heure à laquelle le dépôt d'ascospores ait eu lieu durant la première journée.

Il est assez difficile d'expliquer pourquoi la pénétration ne débute pas au moment où l'extrémité du tube germinatif rencontre un premier stomate. On ne peut penser que la différenciation de l'appresorium soit liée à la possibilité pour les noyaux de se diviser car ils le font bien plus tôt : la première cloison se forme à l'extrémité de l'ascospore au bout de quelques heures et dans les premières 48 heures plusieurs cloisons, et souvent des ramifications se sont formées.

Une autre hypothèse difficilement vérifiable pourrait envisager que la formation de l'appresorium est liée à l'apparition, à la disparition ou encore à des variations de concentration de certaines substances intracellulaires, ce qui demanderait un laps de temps compris entre 50 et 60 heures. Ce même laps de temps pourrait être nécessaire à des modifications physiques de la membrane du filament permettant la différenciation de l'appresorium.

Feuilles âgées

La résistance à l'infection des feuilles âgées s'expliquerait d'après LEACH (1958) par le développement rapide sur la feuille d'une flore saprophytique qui inhibe le développement de *M. musicola*. Il pourrait s'agir d'une action antibiotique. Cet auteur considère que, dans certaines conditions, cette flore saprophytique ne se développe pas. En effet, quand la rosée est absente les champignons épiphytes ne peuvent se développer et les vieilles feuilles sont susceptibles d'être contaminées tout autant que les plus jeunes. Durant une sécheresse prolongée aucune infection ne peut avoir lieu ; il y a bien des lésions contenant des périthèces, mais en l'absence d'humidité les ascospores ne sont pas libérées. Dès la première pluie ou rosée suffisamment importante, les ascospores sont libérées et plusieurs feuilles peuvent être infectées simultanément.

On observe que dans le cas du développement d'une flore fongique abondante sur les feuilles, la plupart des stomates sont envahis par le mycélium des champignons épiphytes, ces stomates restent ouverts (ce qui est vérifié au test de l'alcool isopropylique (FROSSARD, 1961)). Cette observation peut également expliquer pourquoi le *M. musicola* ne peut généralement se développer sur les feuilles âgées. Nous avons cependant eu l'occasion d'observer en Guinée des attaques brutales qui impliquaient nécessairement un dépôt et le développement du parasite sur l'ensemble du feuillage.

Nous avons cherché à préciser ce fait d'observation. Lors de l'essai réalisé pour démontrer le transport latéral des ascospores (p. 64), on assiste bien à une infection simultanée de l'ensemble des feuilles d'un bananier sain (les premiers symptômes apparaissent sur une feuille âgée, et à la fin de l'essai on constate que l'attaque s'est produite de façon identique sur toutes les feuilles quel que soit leur âge au moment de la

contamination). Une critique peut être faite, c'est que la présence des cages de polyéthylène a empêché le développement de la flore saprophyte. Aussi d'autres observations ont dû être réalisées.

Observations de janvier-février 1958

Au début de 1958, en janvier, alors que l'humidité était suffisante pour permettre le développement des champignons épiphytes, nous avons eu la possibilité de faire des observations précises sur des attaques provoquées par deux tornades exceptionnelles à cette saison : l'une le 18, entre 1h 45 et 2h 45, hauteur d'eau 27 mm, l'autre le 3 février à 19h 30 - 20h 30, hauteur d'eau 13 mm. Ces deux pluies étaient accompagnées de vent violent. Ensuite il n'y a eu aucune précipitation jusqu'à fin mars. Nous avons vu que vers le milieu de janvier le nombre des ascospores susceptibles d'être libérées est encore très élevé et que, d'autre part, des pluies de cette importance sont suffisantes pour déclencher la libération des ascospores. La présence de vent violent assurait une large dissémination. La dernière pluie avant cette tornade datait du 18 novembre, son action sur les pluies jeunes feuilles était nulle.

A la suite de ces tornades on pouvait envisager que la contamination se réaliserait selon un des trois processus suivants :

- Seules les dernières feuilles déroulées considérées comme normalement sensibles à la Cercosporiose présenteraient des symptômes (le cigare et les deux plus jeunes feuilles par exemple) ;
- L'ensemble du feuillage pourrait être atteint, mais à des degrés divers, les feuilles les plus âgées étant moins sensibles ;
- L'ensemble du feuillage pourrait être atteint avec une intensité égale.

Protocole de l'essai.- Les observations ont été effectuées sur 12 bananiers (6 Nains et 6 Poyos) selon la méthode habituelle, décrite p.142. Les feuilles ont été classées en 7 catégories selon le moment de leur déroulement ; cette classification est exposée dans le Tableau 35.

TABLEAU 35
Période de déroulement des feuilles

Déroulement	Position lors de la pluie du 18/1	Position lors de la pluie du 3/2
16 au 21/12	4	6
23 au 29/12	3	5
30/12 - 5/1	2	4
6 au 13/1	1	3
14 au 20/1	0 pluie	2
21 au 27/1	- 1	1
28/1 - 3/2	- 2	0

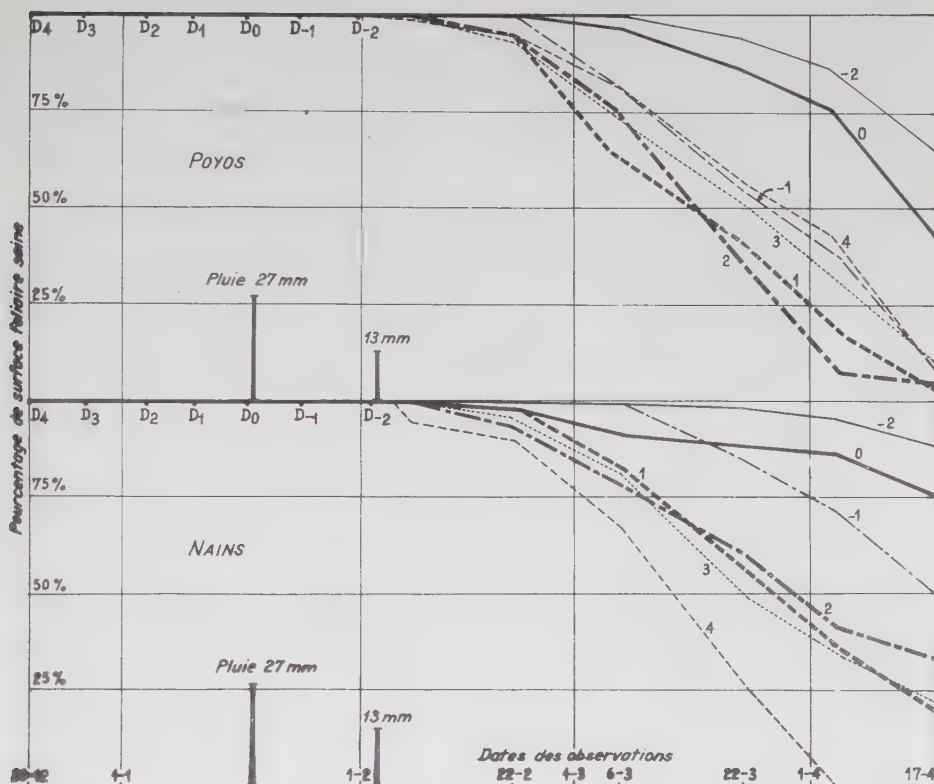


Fig. 32 - Représentation graphique de l'évolution des feuilles après une injection généralisée du feuillage.

Ce sont les chiffres indiquant la position de la feuille lors de la pluie du 18/1 qui seront utilisés dans le texte, le tableau et le graphique pour désigner les différentes feuilles. (Il ne nous a pas été possible d'analyser l'état des feuilles plus vieilles qui présentent déjà des symptômes anciens).

Résultats.- L'examen de la Fig. 32 et du Tableau 36 montre que les feuilles 1, 2, 3, 4 ont été soumises à une contamination importante dont les manifestations apparaissent simultanément. On peut donc en conclure que dans des conditions favorables d'humidité, permettant un développement normal de la flore saprophytique, les quatre plus jeunes feuilles d'un bananier sont sensibles à la contamination par les ascospores. Il faut toutefois signaler le développement anormal de la maladie sur des feuilles 0. On peut admettre qu'au stade cigare ces feuilles n'ont pas été atteintes lors de la tornade du 18 janvier, mais elles auraient dû l'être au moment de la tornade du 3 février, où elles étaient en position de feuille 2 ;

TABLEAU 36
ETUDE DE LA PENETRATION - FEUILLES AGEES
Observations janvier - février - mars 1958 (Contamination générale du feuillage)

Position de la feuille au 18/1	Durée entre le déroulement et les nécroses (stade V) en jours	Durée entre pluie 18/1 et premières nécroses en jours	Cotations aux différentes dates						Durée de vie de la feuille en jours
			Cotations aux différentes dates						
			6/2	22/2	6/3	23/3	3/4	17/4	
P O Y O S									
4	47	19	99	95	82	56	43	8	121
3	36	19	99	94	73	51	33	9	120
2	32	19	99	95	75	37	8	4	101
1	30	22	100*	96	65	41	18	3	103
0	50	50	100	100	97	86	76	42	130
- 1	42	x	100	100	81	54	37	8	106
- 2	49	x	100	100	100	94	87	65	138
N A I N S									
4	44	14	95	90	68	27	0	0	106
3	46	22	100*	96	81	50	35	22	124
2	37	22	100*	94	79	61	42	34	110
1	38	31	100**	99	84	58	37	20	104
0	53	53	100	99	92	87	77	77	113
- 1	46	x	100	100	100	86	72	50	106
- 2	55	x	100	100	100	99	96	89	136

* premières nécroses le 9/2

** premières nécroses le 18/2

or il n'en est rien. Alors que les feuilles moins 1, en position 1 au 3 février sont, elles, très attaquées et montrent une évolution identique à celle des feuilles 4, 3, 2, 1 avec un décalage dans le temps. Une autre feuille présente également un faciès particulier sur les bananiers Nains, c'est la feuille 4, la plus âgée, sur laquelle l'infection est très rapide. Cette feuille était vraisemblablement déjà contaminée au moment de la tornade et celle-ci a provoqué des attaques secondaires qui ont précipité le dessèchement du limbe.

Lorsque la quantité d'ascospores déposées sur les feuilles est très importante et les conditions climatiques favorables, elles peuvent non seulement germer et pénétrer sur le cigare et la plus jeune feuille, mais également se développer sur un certain nombre de feuilles déroulées et dans certains cas sur la totalité du feuillage.

De telles observations sont en contradiction avec les données classiques. On admettait en effet jusqu'à présent que seules les plus jeunes feuilles étaient sensibles à la maladie et l'organisation des traitements était basée sur ce postulat.

b) Etude expérimentale des facteurs de la pénétration

Si l'on place un fragment de cigare sur lequel ont été déposées des ascospores dans une enceinte où règne une humidité relative à saturation et une température d'environ 25° C, on observe au bout de 96 heures qu'un certain nombre de filaments germinatifs ont pénétré, mais le pourcentage de pénétration est faible : 15 % environ du nombre de spores déposées alors que dans les conditions de la bananeraie durant le même temps ce pourcentage est de l'ordre de 80 %.

Divers facteurs peuvent expliquer cette différence ; nous avons cherché à les analyser.

Essais préliminaires

- Une pénétration normale ne peut se produire sur des fragments séparés de la feuille. - Nous avons vérifié que cette pénétration restait possible sur un fragment coupé et maintenu dans les conditions de la bananeraie. On dépose des ascospores sur une portion de cigare, puis on la découpe et on la fixe sur le cigare où elle a été prélevée. Les résultats sont les suivants :

<u>Temps écoulé</u> <u>après la libération</u>	<u>Pourcentage</u> <u>de pénétration</u>
72 heures	18 %
96 heures	44 %
120 heures	77 %

Le fait d'utiliser des fragments de feuille n'empêche donc pas la pénétration.

- Après une survie de 4 jours les fragments de feuille sont inaptes à une pénétration normale. - Des fragments de feuille situés dans des enceintes closes présentent des symptômes de dépérissement à partir du 4ème jour ; dans ces conditions anormales la pénétration est peut-être empêchée. Nous avons effectué le découpage des fragments seulement 48 heures après le dépôt des ascospores afin de diminuer d'autant la période de survie. Les résultats obtenus avec cette méthode n'augmentent pas le pourcentage de pénétration.

Il semble bien que la faible pénétration des filaments germinatifs dans les conditions de notre essai ne soit pas due à des conditions propres aux fragments de feuilles utilisés, mais bien aux conditions extérieures. Nous avons été amené à envisager le rôle possible des trois facteurs suivants : Hygrométrie, Mouvements stomatiques, Lumière.

Effets de l'état hygrométrique sur la pénétration

Essai I - Protocole. - On soumet des fragments de cigare, 48 heures après le dépôt des ascospores, à des états hygrométriques alternés : 12 heures à 100 % et 12 heures aux pourcentages suivants, réalisés à l'aide de solutions saturées d'eau et de sels indiqués dans Handbook of Chemistry (1955) :

15	%	(mélange eau - Li Cl H ₂ O à 20° C)
43	%	(" - C O ₃ K ₂ à 25° C)
56	%	(" - Ca (N O ₃) ₂ à 18,5° C)
66	%	(" - Na N O ₂ à 20° C)
79,5	%	(" - NH ₄ Cl à 20° C)

Cette première série d'essais s'est soldée par un échec total. Nous n'avons obtenu aucune pénétration. L'échec peut provenir de différentes causes :

- Les produits chimiques utilisés pour l'obtention des différentes humidités relatives peuvent être nocifs vis-à-vis des tissus foliaires ;
- Les humidités relatives utilisées dans cet essai étaient trop faibles. Nous avons vu que la croissance des filaments germinatifs s'arrêtait quand le degré hygrométrique descendait en dessous de 95 %.

Nous avons mis en place un nouvel essai d'après la technique de JARVIS (1960) qui consiste à utiliser des mélanges d'eau et de glycérine, ce qui nous a permis d'éliminer l'action des produits chimiques et d'obtenir des degrés hygrométriques plus élevés.

Essai II-Protocole.— On soumet des fragments de cigare, sur lesquels ont été déposées des ascospores, à des états hygrométriques alternés obtenus à l'aide de la méthode de JARVIS (loc. cit.). Les humidités relatives étudiées sont de 100 % et 90 % alternativement.

Les résultats sont les suivants :

Pour un essai mis en place le 10 novembre 1960 à 17 h, des observations effectuées après 48 heures lors du prélèvement des fragments sur la feuille ne permettent d'observer aucune pénétration.

A partir du 12 à 17 h, les fragments de cigare sont prélevés et placés à l'intérieur d'enceintes où l'atmosphère est à saturation durant 12 heures, puis dans d'autres enceintes à une humidité relative de 90 % pendant 12 heures. Les résultats que nous obtenons sont résumés dans le Tableau 37.

TABLEAU 37

Pourcentages de pénétration 96 h et 120 h après le dépôt des ascospores. Etats hygrométriques 90 p.cent et 100 p.cent

	Ascospores ayant pénétré	Ascospores n'ayant pas pénétré
96 h APRES LE DEPOT DES ASCOSPORES (SOIT 48 h d'ETATS HYGROMETRIQUES VARIES)		
Lame 1	31,6	68,4
" 2	39,2	60,8
" 3	48,1	52,9
120 h APRES LE DEPOT DES ASCOSPORES (SOIT 72 h d'ETATS HYGROMETRIQUES VARIES)		
Lame 1	67,6	32,4
" 2	78	22
" 3	78,4	21,4
(250 spores sont observées sur chaque lame).		

La technique permettant d'obtenir des pénétrations étant mise au point, nous avons précisé les pourcentages d'humidité relative les plus favorables à la pénétration.

Essai III.— Le protocole est le même que le précédent ; les humidités relatives utilisées sont de 100 %, 98 %, 95 % et 90 % (pour les trois dernières, on soumet les fragments de feuille 12 heures à 100 % et 12 heures aux degrés hygrométriques indiqués). Les résultats sont comparés à ceux obtenus sur une feuille de bananier laissée en place dans la bananeraie et exprimés dans le Tableau 38.

Le pourcentage de germination croît avec les diminutions de l'état hygrométrique. Nous avons cherché à préciser quel était l'abaissement temporaire alternant avec la saturation qui était le plus favorable.

TABLEAU 38

Pourcentages de pénétration 96 heures après le dépôt des ascospores. Etats hygrométriques : 100 p.cent-98 p.cent-95 p.cent-90 p.cent

96 HEURES APRES LE DEPOT DES ASCOSPORES

Essai témoin en bananeraie	78,2	de pénétration
Humidité relative 100 p.cent	30,4	"
Humidités relatives alternés :		
12 h à 100 p.cent - 12 h à 98 p.cent	39,2	"
12 h à 100 p.cent - 12 h à 95 p.cent	57,1	"
12 h à 100 p.cent - 12 h à 90 p.cent	63,2	"

Nous avons testé les humidités relatives suivantes (trois répétitions pour chaque degré hygrométrique étudié) :

- A - Humidité relative à saturation durant tout l'essai,
 B - Humidités relatives alternées : 100 % 12 heures, 95 % 12 heures,
 C - Humidités " " : " 90 % " ,
 D - Humidités " " : " 85 % " .

L'essai est mis en place le 16 novembre 1960 à 17 h, les fragments de feuilles prélevés le 18 et soumis les 19, 20, 21 et 22 à des états hygrométriques alternés (sauf A). Les résultats sont relevés dans le Tableau 39, 144 heures après le dépôt des ascospores.

TABLEAU 39

Pourcentages de pénétration 144 h. après le dépôt des ascospores

	I	2	3
A	12	9	26,8
B	12,6	27	21,5
C	54,3	50,5	28,1
D	11,2	9	16,2

L'analyse statistique de ces résultats montre que seul C (90 %) est significativement supérieur aux autres traitements (au seuil 5 %).

On peut, à la suite de ces essais, faire les observations suivantes :

- La pénétration des filaments germinatifs dans le stomate est possible dans une enceinte où l'état hygrométrique est voisin de la saturation, mais elle reste faible (15,9 % en moyenne). Il est difficile d'affirmer que dans les conditions de l'essai, où de faibles changements de température ont pu se produire, il n'y a pas eu de légères variations des degrés hygrométriques. Il serait nécessaire de vérifier si la pénétration est possible lorsqu'un film d'eau recouvre la feuille ;

cependant la présence d'une pellicule d'eau permanente sur la feuille n'est pratiquement jamais réalisée en bananeraie ;

- La pénétration des filaments germinatifs dans les stomates est favorisée par un abaissement temporaire du degré hygrométrique alternant avec la saturation, mais cette diminution est relativement faible ; l'humidité relative ne doit pas descendre en dessous de 85 %, car à ce niveau un blocage de la croissance mycélienne se produit rapidement et la pénétration n'est plus possible.

Rôle des mouvements stomatiques

LEACH (1946) estime que les stomates jouent un rôle important dans le processus de la pénétration des filaments germinatifs des conidies et que la fermeture des stomates l'empêche de se produire. Il établit que les stomates des feuilles du bananier s'ouvrent le matin, pour se refermer le soir. FROSSARD (1961) a vérifié que l'ouverture des stomates se produit bien durant la journée. Cette ouverture peut être gouvernée par deux facteurs : la lumière ou l'état hygrométrique. BRUN W.A. (1961) a montré que c'est la lumière qui est le facteur déterminant.

Nous avons cherché à préciser si la fermeture des stomates empêchait la pénétration des filaments germinatifs issus d'ascospores.

Protocole.- Les fragments de feuilles où sont déposées les ascospores sont divisées en deux séries :

- Série A.- Soumise à des alternances d'états hygrométriques 90 % - 100 % 12 heures - 12 heures et soumise au rythme normal d'éclairement ; les stomates sont ouverts le jour et fermés la nuit ;
- Série B.- Mêmes conditions d'hygrométrie que la Série A, mais obscurité complète ; dans cette seconde série les stomates sont fermés.

On effectue quatre répétitions pour chaque traitement. Les feuilles sont observées 144 heures après l'inoculation. Si l'ouverture des stomates joue un rôle sur la pénétration, la Série A seule doit permettre d'observer des pénétrations fréquentes.

Les résultats sont exprimés dans le Tableau 40.

TABLEAU 40
Action de l'ouverture des stomates sur la pénétration
en pourcentage

Traitements	Répétitions				
	1	2	3	4	Moyenne
A	50	47,2	46	39	45
B	58	48,2	50	30	44

Il n'y a aucune différence significative entre les deux séries et il semble bien que les mouvements stomatiques soient sans grande influence sur la pénétration.

Un travail récent de FROSSARD (1962) confirme cette façon de voir. Ce chercheur a démontré que sur les jeunes cigares les stomates ne sont absolument pas fonctionnels, aucune pénétration d'alcool isopropylique même pur ne se produit ; la pénétration est très faible pour la seconde feuille et devient normale pour la 3ème feuille. Ce qui montre donc bien que la pénétration est absolument indépendante de l'ouverture des stomates puisque tous nos essais ont été réalisés sur fragment de cigare qui présente des stomates non fonctionnels.

Rôle de la lumière

L'essai précédent montre que la pénétration peut s'effectuer aussi bien à la lumière qu'à l'obscurité. Il semble donc que le rôle de la lumière soit négligeable, au moins quand les conditions hygrométriques sont favorables.

Discussion.- Seule l'action de l'humidité relative sur le mécanisme de la pénétration a été approfondie. De nombreux points restent à préciser, notamment l'action de la température et la durée du phénomène. À partir des premières données acquises on peut esquisser un schéma du mécanisme de la pénétration. Celle-ci peut se produire au voisinage de la saturation, mais dans ce cas le pourcentage de pénétration est très bas. La pénétration est stimulée par une diminution temporaire de l'état hygrométrique jusqu'aux environs de 85 % ; en dessous la croissance mycélienne s'arrête.

Conclusions

Partant des données obtenues au laboratoire, on peut envisager qu'en bananeraie la pénétration se produit surtout le matin, au moment de la disparition de la rosée, et après une pluie au moment de l'assèchement du feuillage. Il est vraisemblable de supposer que les pénétrations seront plus nombreuses durant les périodes de l'année où les pluies seront plus fréquentes et séparées par des périodes d'assèchement. Ces périodes sont celles du début et de la fin de la saison des pluies, où, comme nous l'avons vu, la libération et la dissémination des ascospores atteignent leur maximum.

Bien des points restent à préciser en ce qui concerne la pénétration ; deux notamment mériteraient d'être approfondis :

- D'une part nous avons observé que les pénétrations ne se produisaient jamais avant une période d'au moins 40 heures faisant suite à la germination, mais nous n'avons fourni aucune réponse à ce problème ;
- D'autre part, si nous avons constaté que dans des cas particuliers la pénétration peut s'effectuer sur des feuilles âgées, il reste à expliquer pourquoi la pénétration, dans la majorité des cas, se produit surtout sur le cigare et les jeunes feuilles.

B - INCUBATION

Aussitôt après la pénétration du filament germinatif à l'intérieur d'une chambre sous-stomatique, celui-ci se renfle en une vésicule d'où prend naissance une hyphe qui chemine à l'intérieur des tissus. L'hyphe au cours de sa pénétration se ramifie, mais elle reste toujours intercellulaire. Le trajet du mycélium aboutit toujours à une chambre sous-stomatique de l'une ou de l'autre des faces du limbe (Fig. 33). C'est à partir de ce stade qu'apparaissent les premiers symptômes extérieurs de la maladie sous forme d'un petit point jaunâtre provoqué par la mort de la cellule stomatique et des cellules compagnes.

L'incubation c'est donc la période du cycle qui suit immédiatement la pénétration et qui se termine avec l'apparition du premier symptôme de la nécrose, c'est-à-dire le point jaunâtre.

La durée de la phase d'incubation ainsi définie ne peut être déterminée avec précision que si l'on connaît à la fois la date de la première

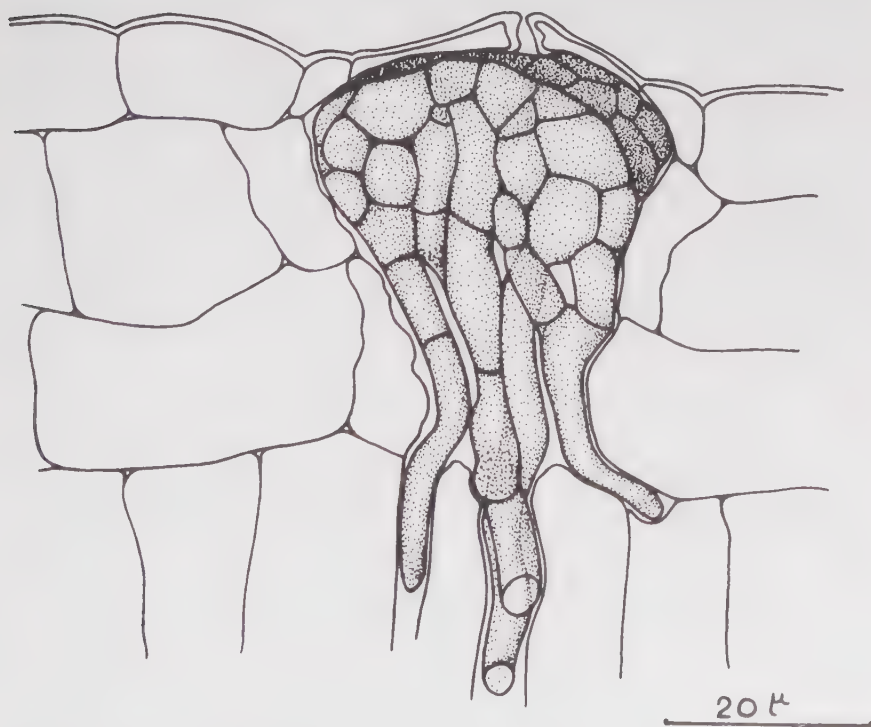


Fig.33 - Arrivée des mycélium inter-cellulaire dans une chambre sous-stomatique.

manifestation de la maladie, ce qui est aisé aussi bien en bananeraie qu'au laboratoire, et la date de la pénétration, qui est évidemment connue lors d'inoculations expérimentales, mais ne peut être précisée dans le cas d'infections naturelles.

En bananeraie, il est toutefois évident que la durée de l'incubation ne saurait excéder celle de la période écoullée entre le moment où des spores du parasite ont pu atteindre la feuille, c'est-à-dire la sortie du jeune cigare, et le moment où les premiers signes de la maladie sont visibles. Les valeurs obtenues de cette façon représentent, bien sûr, des approximations, éventuellement par excès si la contamination n'intervient pas dès le début du déroulement, mais jamais par défaut.

La détermination de cette valeur maximale de la durée de la phase d'incubation, la seule accessible en bananeraie dans le cas d'infections naturelles, présente un intérêt pratique supérieur à celle de la durée de la période d'incubation vraie pour la prescription du nombre des traitements thérapeutiques et de leur espacement.

Nous utiliserons dans le texte deux définitions :

- Incubation vraie : lorsque les conditions expérimentales auront permis de préciser la date de pénétration et celle de l'apparition des premiers symptômes ;
- Incubation maximale : lorsque le moment de la pénétration n'aura pu être précisé, le point de départ étant le stade A du déroulement.

Les auteurs SIMMONDS (1933, 1939), STAHEL (1937), LEACH (1946) qui ont étudié l'incubation ont établi leurs observations tant sur des données résultant d'inoculations conidiennes expérimentales, que sur des observations effectuées en bananeraie ; tous insistent sur le même point, les très grandes variations de la durée du phénomène. Les observations que nous avons effectuées en Guinée dans les conditions de la bananeraie à partir d'inoculations ascospores confirment ces variations.

1 - INCUBATION MAXIMALE DANS LES CONDITIONS DE LA BANANERAIE

Cette étude a été faite à la suite d'observations portant sur deux variétés de bananier : "Bananier Nain" et "Bananier Poyo" et dans deux bananeraies différentes, l'une recevant des traitements fongicides : La Ouatamba, et l'autre ne recevant aucun traitement : Le Kottakouré. Le Tableau 41 et la Fig. 34 indiquent les variations moyennes de la durée de l'incubation maximale (calculée sur un nombre de feuilles variant de 6 à 20). Ces chiffres montrent bien les variations très fortes : de 19 à 55 jours, Nains Kottakouré ; 20 à 61, Poyos Kottakouré ; 26 à 76, Nains Ouatamba et 25 à 61, Poyos Ouatamba. Il s'agit, dans le cas des chiffres que nous venons de citer, d'écarts maxima portant sur 3 années, mais les variations mensuelles sont également très élevées comme le montrent le Tableau 42 et la Fig. 35 où les moyennes mensuelles varient du simple au double, ce qui implique des variations individuelles beaucoup plus importantes.

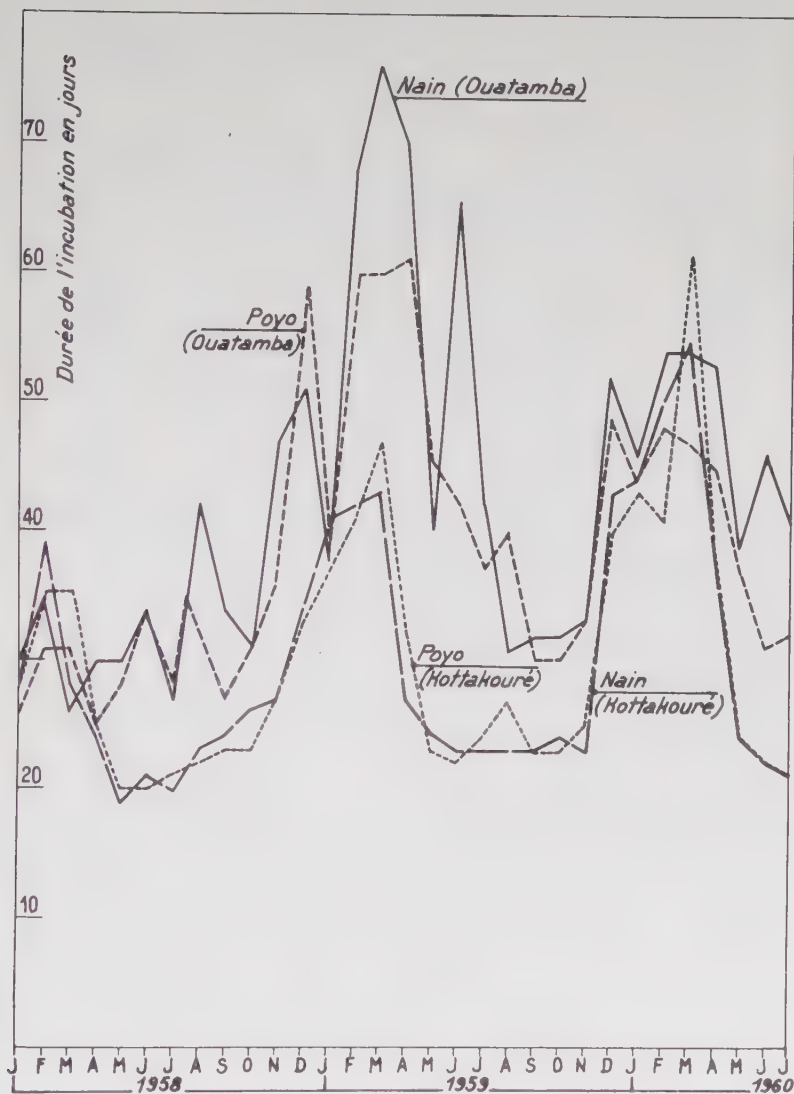


Fig.34 - Durée de l'incubation maximale exprimée en jours sur variétés poyo et nain, en bananeraie traitée Ouatamba et non traitée Kottakouré.

Ces différences dans la durée de l'incubation ont tout d'abord été imputées aux conditions climatiques et notamment aux basses températures. SIMMONDS (1933, 1939) qui a étudié la maladie au Queensland estime qu'en

TABEAU 41
VARIATIONS DE DUREE MOYENNE DE L'INCUBATION MAXIMALE
(exprimées en jours)

	1958		1959		1960	
	Durée la + courte	Durée la + longue	Durée la + courte	Durée la + longue	Durée la + courte	Durée la + longue
Kottakouré (non traitée)						
Nains	19 (mai)	39 (fév.)	22 (juin)	43 (mars déc.)	21 (juil.)	55 (mars)
Poyos	20 (mai juin)	35 (fév. mars)	22 (juin)	47 (mars)	21 (juil.)	61 (mars)
Ouatamba (traitée)						
Nains	26 (mars)	51 (déc.)	31 (août)	76 (mars)	39 (mai)	54 (mars)
Poyos	25 (avr.)	59 (déc.)	30 (sep. oct.)	61 (avr.)	31 (mai)	48 (fév.)
	1960 - de janvier à juillet seulement					

Les chiffres indiqués dans les colonnes expriment en jours les durées les plus courtes et les plus longues de l'incubation maximale moyenne. Les mois indiquent la ou les périodes où ces chiffres sont relevés.

bananeraie la durée de l'incubation s'accroît quand la température décroît. Le même phénomène peut être observé en Guinée, où la période d'incubation varie d'une vingtaine de jours en octobre-novembre pour atteindre 40 jours et plus en janvier-février où la température minimale est de l'ordre de 10° C. LEACH (1946) considère qu'il n'y a aucun effet sensible de la température sur le développement des taches dans les conditions naturelles. Il fait toutefois observer que la moyenne minimale la plus basse est de 17° C en Jamaïque alors qu'elle atteint 9° C au Queensland. Au Brésil, où les températures varient très peu, DANTAS (1948) signale que les durées moyennes de l'incubation maximale se situent entre 22 et 30 jours. Si nous observons les deux tableaux précédents, nous nous apercevons cependant que les maxima se produisent souvent en mars, qui n'est pas le mois le plus froid de l'année, et que les variations ne peuvent s'expliquer uniquement en considérant les températures minimales (Fig. 35).

LEACH (loc. cit.), qui a particulièrement étudié les problèmes de la variation du temps d'incubation (incubation vraie et incubation maximale) à partir d'infections conidiennes, est arrivé aux conclusions suivantes :

- La durée d'incubation varie selon le degré d'infection des feuilles. Elle est d'autant plus courte que l'inoculation est plus importante ;

TABLEAU 42

Durée moyenne de l'incubation maximale en bananeraie
traitee et non traitee

(exprimee en jours)

Kottakouré (non traité)			Ouatamba (traité)		
	Nain	Poyo	Nain	Poyo	
1958 Janv.	29	28	30	26	Pas de traitement
Févr.	39	35	35	31	
Mars	28	35	26	31	
Avril	24	25	30	25	
Mai	19	20	30	28	Traitements
Juin	21	20	34	34	
Juil.	20	21	29	28	
Août	23	22	42	35	
Sept.	24	23	34	27	
Oct.	26	23	31	31	
Nov.	27	27	47	36	
Déc.	34	33	51	59	
1959 Janv.	41	37	38	39	Pas de traitement
Févr.	42	41	68	60	
Mars	43	47	76	60	
Avril	29	32	70	61	
Mai	24	23	40	45	Traitements
Juin	22	22	65	42	
Juil.	23	24	42	37	
Août	23	27	31	40	
Sept.	23	23	32	30	
Oct.	24	23	32	30	
Nov.	23	25	33	33	
Déc.	43	40	52	49	
1960 Janv.	44	43	46	44	Pas de traitement
Févr.	50	41	54	48	
Mars	55	61	54	47	
Avril	37	39	53	45	
Mai	24	24	39	37	Traitements
Juin	22	22	46	31	
Juil.	21	21	41	32	

- La durée d'incubation varie selon la température : les basses températures augmentent la période d'incubation ;
- La durée d'incubation varie selon la vitesse de croissance du bananier. L'incubation est plus courte sur des bananiers plus vigoureux.

Dans une communication au Congrès d'Horticulture de Nice, LEACH (1958) estime que le temps pris par une tache pour se développer est déterminé par le potentiel de l'inoculum ou l'intensité de l'infection sur la surface de la feuille. Quand l'infection est légère, les taches en résultant peuvent

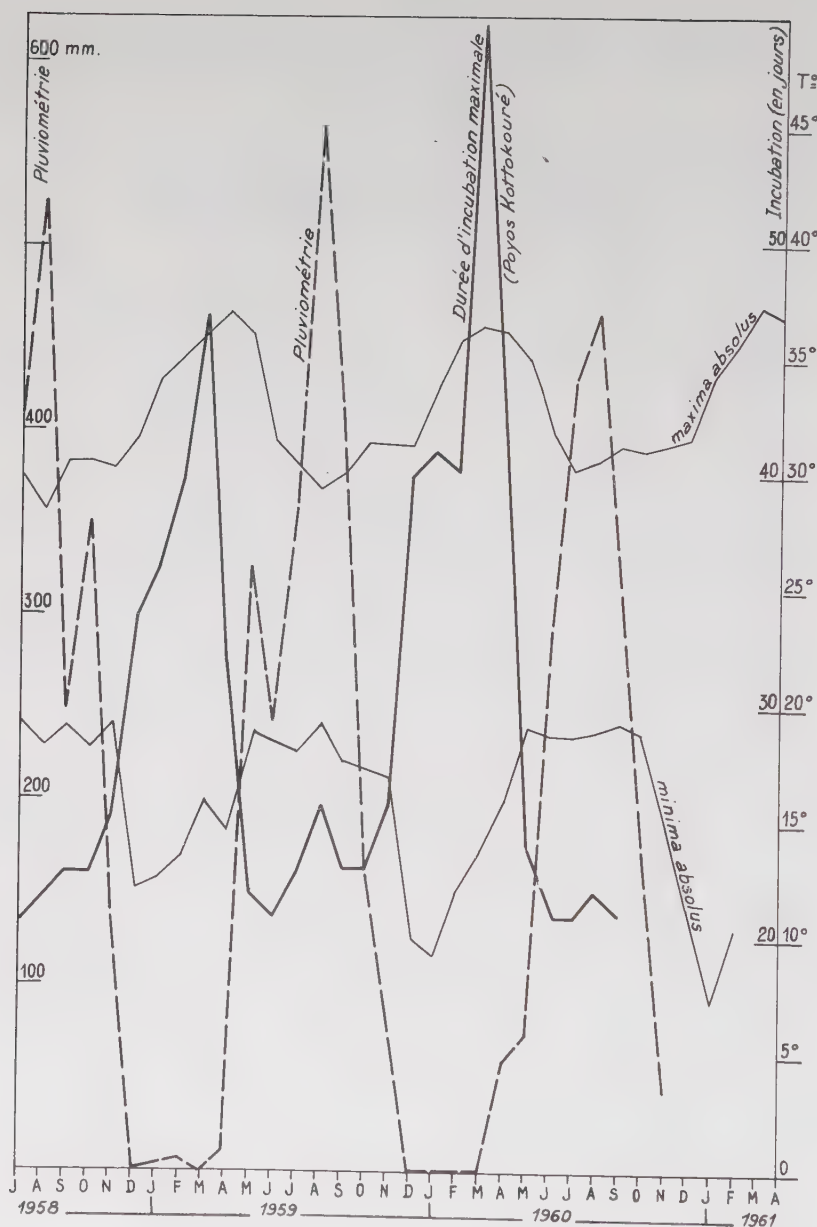


Fig.35 - Durée de l'incubation maximale comparée avec les températures et la pluviosité.

mettre 3 mois ou plus pour se développer. Une des particularités les plus caractéristiques de la maladie de la Cercosporiose est donc la variabilité de la durée de l'incubation, avec pour résultat que des taches qui se développent durant toute la vie de la feuille peuvent avoir pour origine une infection au moment du déroulement de la feuille.

Le premier point a été démontré expérimentalement par LEACH (1946) qui a effectivement obtenu des durées variables d'incubation vraie à partir de suspensions de conidies de concentrations différentes. FROSSARD (1963) a étudié en Côte d'Ivoire le problème de la durée de l'incubation vraie à partir de suspensions conidiennes de concentrations différentes allant de 5 à 180 conidies au millimètre cube. Pour une période donnée de l'année, le mois de mars, les résultats sont exposés dans le Tableau 43 (d'après FROSSARD, loc. cit.), exprimés en moyenne calculée sur 24 répétitions.

TABLEAU 43

Variations de durée de l'incubation en fonction de
la quantité d'inoculum conidies (en jours)

Conidies au mm ³	Durée de l'incubation
180	18,0
80	18,4
40	19,2
20	20,0
10	21,4
5	29,8

L'allongement est surtout considérable pour les faibles concentrations (5 conidies au mm³). Il faut toutefois noter que les premières stries apparaissent toutes au bout de 18 jours pour la concentration la plus élevée et s'échelonnent entre 20 et 40 jours pour la concentration la plus faible.

Nous avons étudié la durée moyenne de l'incubation maximale succédant à des inoculations à partir d'ascospores, dans les conditions d'une bananeraie guinéenne.

a) Relation avec la quantité d'inoculum

La quantité d'ascospores a été définie selon deux méthodes :

- En comparant des bananeraies traitées et des bananeraies non traitées. On peut admettre qu'il y a une potentialité plus faible d'inoculation en bananeraies traitées ;
- En effectuant au cours de l'année des observations sur la quantité d'ascospores libérées à partir de fragments de feuille.

Comparaison de la durée moyenne de l'incubation maximale entre bananeraies traitées et bananeraies non traitées

Le Tableau 42 permet de comparer la durée moyenne de l'incubation maximale en bananeraie traitée ou non. On constate que :

- En période où aucun traitement n'est effectué, les différences sont plus faibles entre les deux bananeraies ;
- En période de traitement les durées d'incubation augmentent considérablement en bananeraie traitée par rapport aux bananeraies non traitées, où elles diminuent (sauf pour novembre et surtout décembre où les températures minimales augmentent la durée de l'incubation).

On peut toutefois objecter que les traitements ont une action directe sur le développement du parasite et que ce sont les traitements et non la diminution de l'inoculum qui augmentent la durée de l'incubation.

Corrélation entre la durée moyenne de l'incubation maximale et la quantité d'ascospores présentes dans la bananeraie

La quantité d'ascospores présentes sur le feuillage dépend de deux facteurs :

- Présence de périthèces contenant des ascospores dans les tissus nécrosés,
- Conditions favorables à la libération des ascospores.

La répartition des périthèces au cours de l'année a déjà été envisagée (p. 40). On peut toutefois la résumer dans le Tableau 44.

TABLEAU 44
Fréquence des ascospores au cours de l'année

	1958	1959	1960	1961
J		786	285	110
F		283	10	1
M		58	14	44
A		34	17	
M		87	25	
J		141	258	
J	343	422	375	
A	140	214	376	
S	365	256	22	
O	639	409	325	
N	310	478	500	
D	2629	2739	706	

Les résultats sont exposés en quantité d'ascospores observées au cm².

(Moyenne sur 5 feuilles - prélèvements effectués au sommet - libération par une pluie artificielle de 30').

De tels chiffres n'ont évidemment pas une valeur absolue, mais on peut admettre que les périthèces sont abondants dans les feuilles durant 8 mois (de juin à janvier) et plus rares durant 4 mois (de février à mai).

Nous savons que les conditions favorables à la libération sont surtout déterminées par les pluies ; celles-ci s'arrêtent en général dans le cours de novembre. La reprise des pluies à fin avril permettrait une libération abondante, mais à cette période le nombre de périthèces présents dans les feuilles est faible. Donc de décembre à fin avril les conditions climatiques sont défavorables et le nombre d'ascospores présentes sur le feuillage sera faible.

L'examen de la courbe de durée moyenne de l'incubation maximale (Fig. 33 et 34) montre que c'est bien durant cette période, où la quantité d'inoculum est faible, que l'incubation maximale moyenne est la plus longue.

Toutefois une remarque s'impose : l'examen des chiffres d'ascospores libérées à la suite de pluies artificielles indique que décembre est le mois où les ascospores sont les plus abondantes.

En Guinée, la pluviosité est généralement faible en décembre ; cependant l'humidité est encore suffisante pour permettre une libération des ascospores. On devrait donc observer des périodes d'incubation relativement courtes. De même en janvier où la quantité d'inoculum est encore considérable. Ce qui nous amène à considérer le second point des conclusions de LEACH (loc. cit.).

b) Relation avec la température

Une explication possible de l'allongement de la durée d'incubation réside dans le rôle de la température qui limite le développement mycélien. En effet, décembre et janvier sont les mois froids de l'année ; les températures minimales moyennes sont de 16° à 17° C et les minima absolus sont de l'ordre de 9° à 10° C. Nous savons que de telles températures limitent le développement mycélien. Un autre fait confirme cette hypothèse : c'est qu'en Basse-Côte, où les températures sont plus élevées, la maladie continue à se développer jusqu'à fin janvier. Alors qu'il est de règle de cesser les traitements à la mi-décembre dans la région de Kindia, on doit les prolonger un mois de plus dans la région de Benty.

Il est possible que durant les mois de mars-avril les températures maximales soient limitantes ; mais à cette période le potentiel d'inoculum est très faible et il est difficile de séparer les deux facteurs : température et masse d'inoculum.

c) Relation avec la vitesse de croissance du bananier

Dans son troisième point LEACH (loc. cit.) indique que la vitesse de croissance du bananier pourrait avoir une influence sur la durée de

l'incubation : les bananiers à croissance rapide présenteraient une durée d'incubation plus courte.

Nous avons effectué des observations durant l'hivernage 1959 de mai à novembre, en choisissant à la bananeraie de Kottakouré (non traitée) des bananiers présentant un rythme d'émission de feuilles rapide et une vigueur végétative satisfaisante qui ont été comparés à un second groupe à émission foliaire plus lente et de vigueur moindre. Le rythme de sortie des feuilles du premier groupe était de l'ordre de 10 jours, celui du second de 15 jours. (Les observations portent sur 100 feuilles environ.)

Les résultats sont donnés ci-dessous :

Durée d'incubation (en jours)

Groupe à croissance rapide : moyenne 23,1
Groupe à croissance lente : moyenne 26,5

$$t = \frac{26,5 - 23,1}{1,01} = 3,37 \quad (1,01 = \text{écart-type})$$

Il y a donc différence significative au seuil 1 % : $t = 2,57$ dans la table de t .

En ce qui concerne l'infection par les ascospores, la durée de la période d'incubation est donc plus courte pour les bananiers à croissance rapide, mais les différences observées sont beaucoup plus faibles que pour les deux autres facteurs envisagés.

Les observations effectuées en bananeraie confirment la grande variabilité de la durée moyenne de l'incubation maximale, variabilité due principalement, semble-t-il, à la quantité d'inoculum et aux variations de température.

La vérification expérimentale de ces deux points est très délicate. En effet, il est pratiquement impossible de "doser" avec précision la quantité d'ascospores déposées sur les feuilles avec la méthode que nous utilisons ; d'autre part, l'action de la température ne peut être étudiée de façon précise qu'à l'intérieur d'enceintes que nous n'avions pas à notre disposition. Nous avons cependant cherché à préciser les observations faites en bananeraie.

2 - INCUBATION VRAIE DANS LES CONDITIONS DE LA BANANERAIE

a) Relation avec la quantité d'inoculum

Protocole.- On dépose en bananeraie sur de jeunes feuilles, dès que leur développement le permet, des ascospores par la méthode habituelle. Il est impossible de doser la quantité d'ascospores qui seront déposées, mais l'examen des symptômes révélera si ce dépôt a été important ou non. L'évaluation des symptômes permet de classer "l'importance" des dépôts en trois catégories :

Catégorie I : 1 à 5 lésions visibles pour 4 cm² (ce qui représente la surface "ensemencée" par une "boîte" à ascospores),

Catégorie II : 5 à 20 " " " " ,

Catégorie III : plus de 20 lésions (coalescence rapide des jeunes taches).

Les lésions sont dénombrées au premier stade visible de la maladie (petit point jaunâtre).

La durée de la germination et les pourcentages de pénétration sont identiques à 24 heures près : le fait est vérifié par des observations sur les témoins 3, 4 et 5 jours après le dépôt des ascospores.

Les chiffres du Tableau 45 montrent bien qu'il existe un rapport très net entre la durée de l'incubation vraie et la quantité d'inoculum puisque cette durée est toujours plus faible dans le cas d'attaques plus graves, les autres facteurs étant identiques pour une même période d'observation.

TABLEAU 45
Durée de l'incubation vraie (en jours)

3 Observations par Catégorie						
Mois	I		II		III	
	Inoculation faible	Moyenne	Inoculation moyenne	Moyenne	Inoculation forte	Moyenne
Janvier	43-49-44	45	39-42-36	39	32-28-33	31
Février	56-54-56	55	42-38-44	41	33-30-35	32
Mars	58-59-64	60	47-44-46	47	-	-
Avril	44-40-46	43	40-41-37	39	30-28-32	30
Mai	28-24-27	26	16-18-18	17	14-16-18	16
Juin	24-26-23	24	19-17-20	18	16-16-18	16
Juillet	30-26-27	27	21-22-24	22	30-26-27	27
Août	28-29-28	28	22-26-24	24	21-24-24	23
Septembre	27-29-29	28	16-13-21	16	13-16-17	15
Octobre	34-32-28	31	22-24-19	21	13-15-16	14
Novembre	36-32-29	32	19-24-22	21	14-17-19	16
Décembre	52-47-49	47	42-39-34	38	33-31-28	30

b) Relation avec la température (Fig. 36)

Si l'essai précédent montre bien que, pour une période déterminée la durée de l'incubation vraie est toujours plus faible dans le cas où la quantité d'inoculum est la plus élevée, il montre également que pour des concentrations identiques les variations de durée sont très importantes selon les saisons. On peut penser qu'elles sont dues principalement aux différences de température. En effet, les variations de l'humidité de l'air ne doivent jouer qu'un rôle négligeable à l'intérieur des tissus.

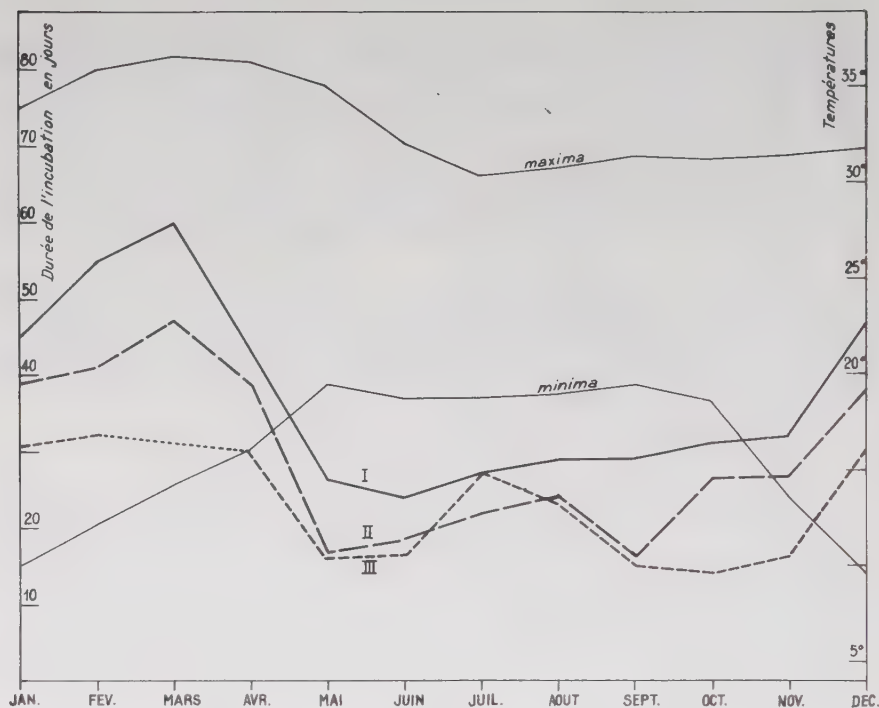


Fig.36 - Comparaison entre les durées d'incubation vraies et les températures. I = inoculum faible. II inoculum moyen. III inoculum abondant.

La durée de l'incubation vraie atteint 31 à 45 jours en janvier, mois froid, et 50 à 60 jours en mars, mois le plus chaud, tandis qu'en mai par exemple, où les températures sont plus favorables, la durée de l'incubation se situe entre 14 et 28 jours.

Afin de préciser le rôle joué par la température nous avons cherché à déterminer quelles étaient les températures réelles au niveau des différentes parties d'un bananier.

Relevés des températures réelles au niveau d'un bananier

Il est utile d'insister sur le fait que les températures mentionnées par SIMMONDS (1939), LEACH (1946) et celles indiquées pour la Guinée dans le Tableau 33 sont des températures relevées sous abris météorologique standards. Nous avons comparé ces températures avec celles existant réellement au niveau des différentes parties du bananier.

La mesure de la température des organes d'une plante est délicate à réaliser. Un système de thermocouples électriques, avec enregistrement cinématographique des résultats, a abouti à un échec provoqué par la trop grande fragilité de ces appareils dans les conditions de la bananeraie. L'utilisation de thermomètres à mercure placés au contact du limbe et en différents points du bananier a permis d'obtenir les premiers résultats. Après un étalonnage précis, ceux-ci ont été complétés à l'aide de thermomètres enregistreurs.

Dans ces conditions, il n'était pas possible d'obtenir des chiffres ayant une valeur absolue, mais plutôt de rechercher une approximation permettant d'évaluer les différences qui existent entre les températures obtenues sous un abri météorologique et les températures qui existent réellement au niveau des différentes parties du bananier.

Les relevés ont été effectués aux endroits suivants :

Face supérieure du limbe, jeune feuille érigée,
 Face inférieure du limbe, jeune feuille érigée,
 Face supérieure du limbe, feuille âgée presque horizontale,
 Face inférieure du limbe, feuille âgée presque horizontale,
 Intérieur du pétiole (à l'aide d'un thermomètre piqueur),
 Intérieur du pseudo-tronc (à l'aide d'un thermomètre piqueur).

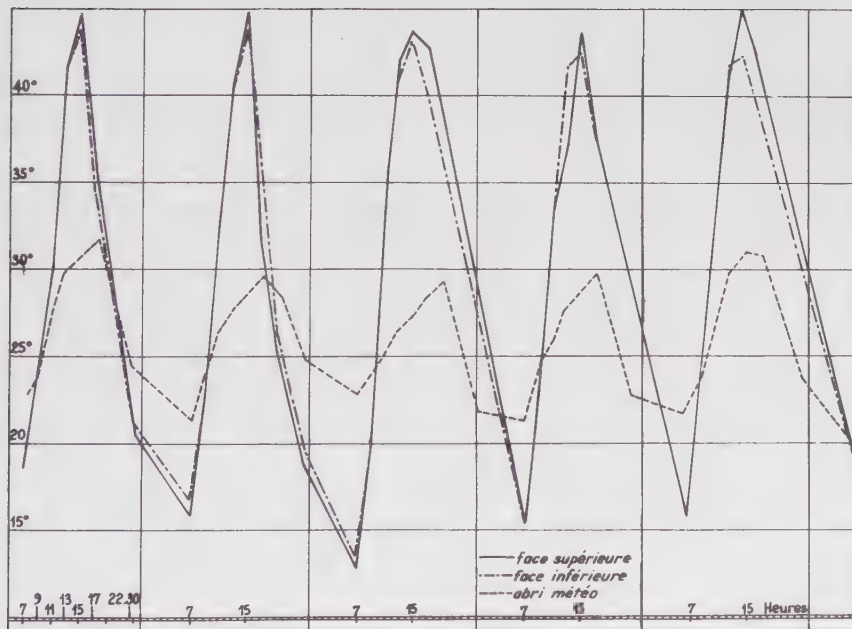


Fig.37 - Températures réelles au niveau des feuilles dressées, comparées aux températures relevées sous abri-météorologique.

Fig.38 - Températures réelles au niveau des feuilles horizontales, comparées aux températures relevées sous abri météorologiques.

Les résultats concernant la face inférieure et la face supérieure d'une jeune feuille encore érigée sont indiqués dans la Fig. 37. Ils montrent que les différences entre ces deux faces sont minimes, mais que par contre les températures relevées varient de 13° à 44° C alors que sous abri les extrêmes sont seulement 21° et 32° C. Les différences relevées dans le cas des feuilles plus âgées et presque horizontales (Fig. 38) permettent d'observer des résultats analogues. Quant aux températures relevées à l'intérieur du pétiole et du pseudo-tronc, elles varient de 16° à 38° C (Fig. 39), soit beaucoup plus que les températures de l'abri météorologique. Les conclusions qui peuvent être tirées de ces observations sont les suivantes :

- Les variations thermiques sont beaucoup plus importantes au niveau des différentes parties d'un bananier que sous abri ;
- Le limbe de la feuille ne joue pas le rôle d'un écran thermique ; les températures sont équivalentes au niveau des deux faces, ce qui permet de supposer qu'à l'intérieur du limbe les températures sont du même ordre que celles relevées en surface ;
- A l'intérieur même du bananier les variations de température restent très importantes et sont moins "tamponnées" que sous abri météo.

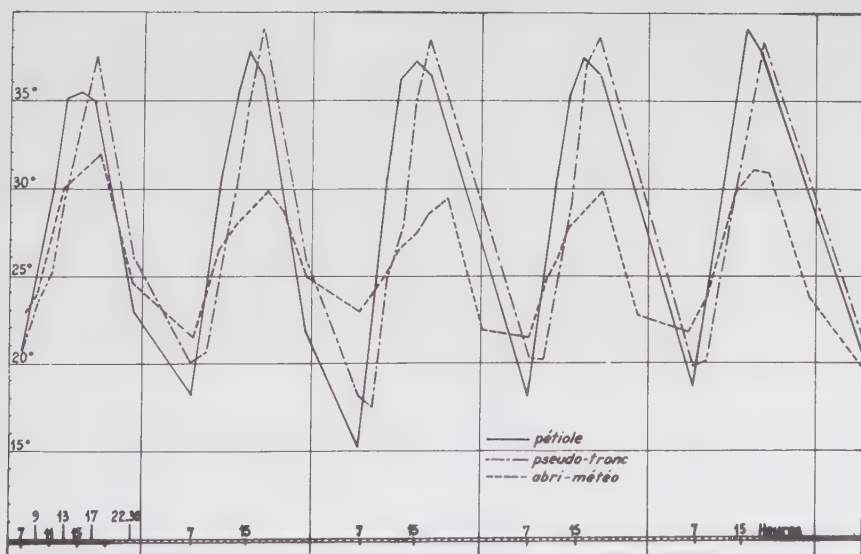
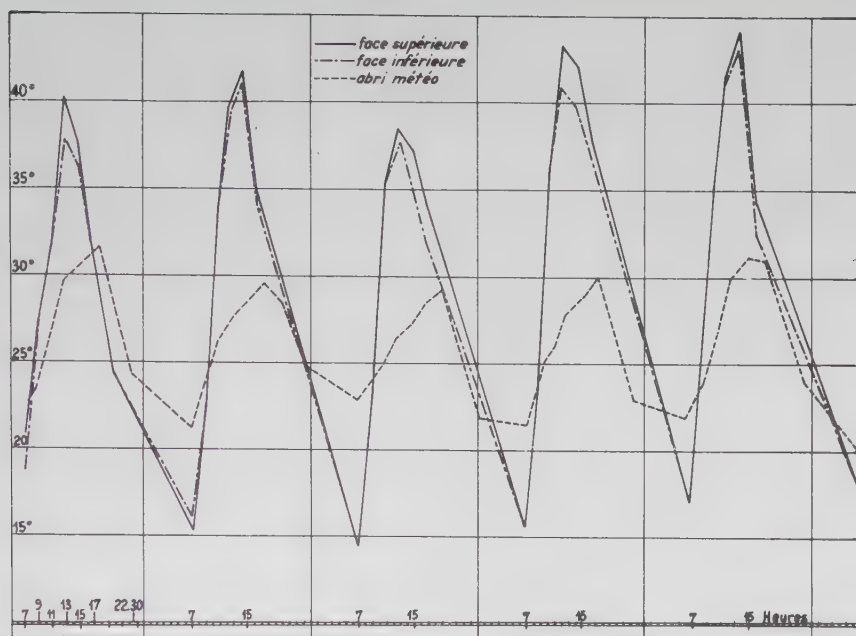
Ces résultats ont été obtenus au mois de mars qui est un des mois les plus chauds de l'année. Il nous a semblé intéressant d'effectuer des comparaisons à une autre période de l'année.

Différences entre les températures relevées au niveau du limbe et sous abri en différentes saisons

Deux semaines opposées en ce qui concerne les conditions climatiques ont été retenues : la semaine du 28 mars au 3 avril 1960 en saison sèche, la semaine du 11 au 18 juillet 1960 en saison des pluies.

L'examen des Fig. 40 & 41 permet de constater qu'en mars les températures au niveau de la face inférieure des feuilles sont très différentes de celles relevées sous abri. Les maxima sont plus élevés de 8° C et les minima plus faibles de 2° C en moyenne, tandis qu'en juillet les différences sont beaucoup plus faibles et de l'ordre de 2° C en plus et en moins. Au mois de juillet les températures réelles s'écartent rarement de la zone comprise entre 20° et 30° C ; nous savons que les températures de 16° et 28° C représentent les points 50 % de la croissance et que 25° C est la température optimale ; les écarts sont donc de $\pm 5^\circ$ C. Tandis qu'en mars les températures

Fig.39 - Températures réelles à l'intérieur des tissus, comparées aux températures relevées sous abri météorologique.



sont telles que durant 8 à 13 heures par jour le parasite trouve des conditions de croissance défavorables (en dehors de la zone $20^{\circ} - 30^{\circ} \text{ C}$), et durant plusieurs heures des températures supérieures à 38° C , température au-delà de laquelle toute croissance cesse. Ces chiffres montrent qu'en période sèche les températures élevées sont défavorables au développement du parasite et qu'il est normal que la durée d'incubation soit prolongée.

Les relevés concernant les basses températures de décembre et janvier n'ont pu être établis, mais les minima absolus relevés sous abri sont de l'ordre de 9° à 10° C , les maxima supérieurs à 30° C . Dans ces conditions, le nombre journalier d'heures favorables à la croissance doit également être considérablement diminué et nous nous trouvons aussi en présence de conditions défavorables au parasite, ce qui explique la longue durée de la période d'incubation.

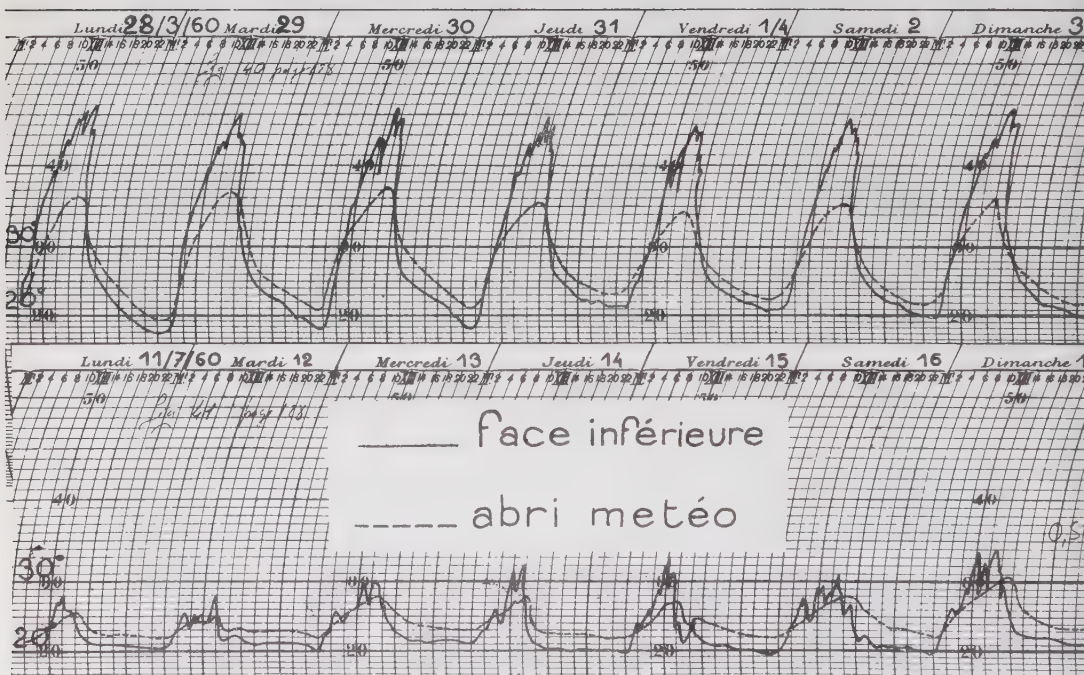


Fig.40 - En haut : Comparaison des températures relevées à la face inférieure d'une feuille, et sous abri-météorologique, en saison sèche (Mars).

Fig.41 - En bas : Comparaison des températures relevées à la face inférieure d'une feuille et sous abri météorologique, en saison des pluies (juillet).

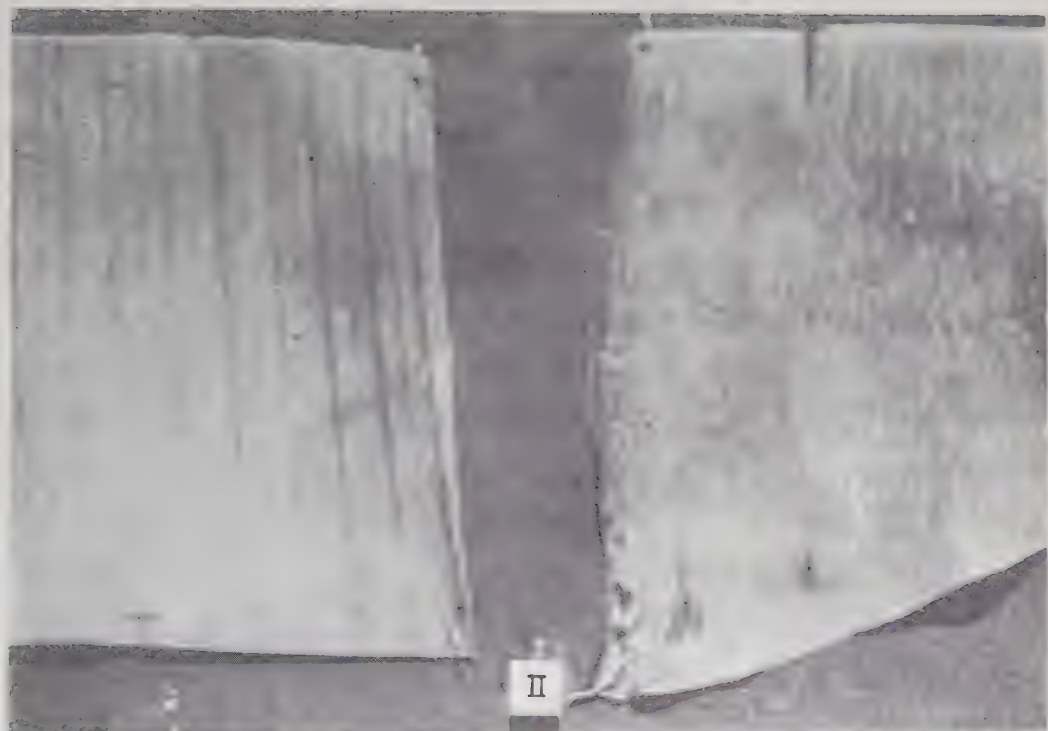
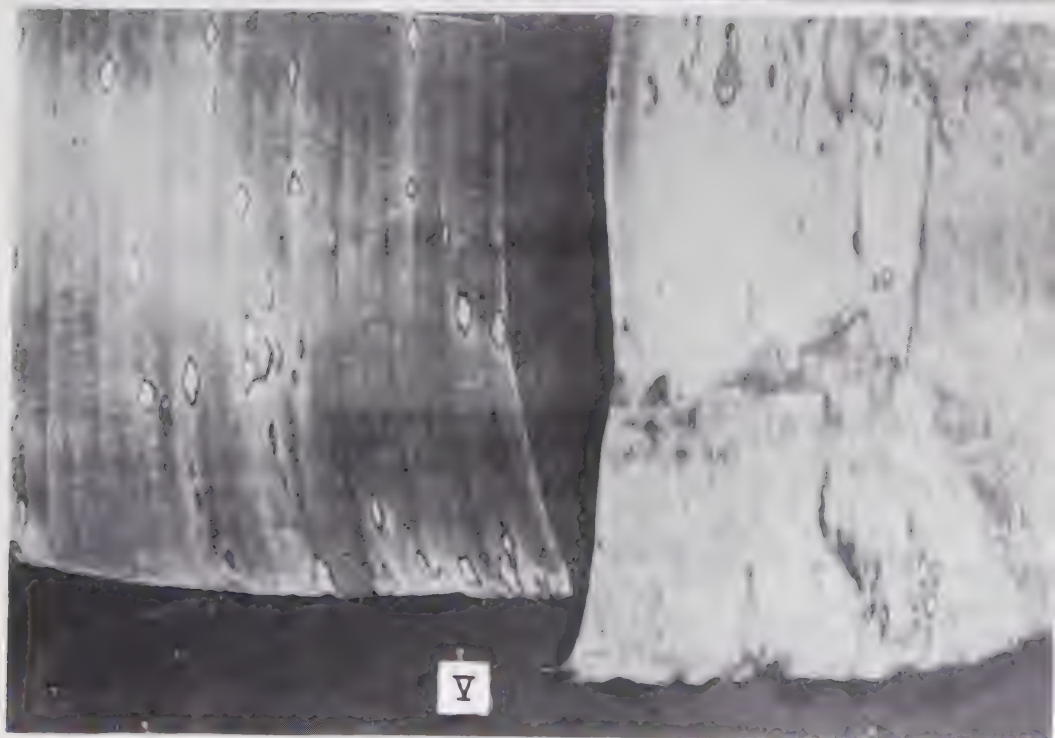


Fig.42-43-44-45- Stade II, III,
IV, V, du développement de la
tache. Le stade I n'est pas
visible à la photo.



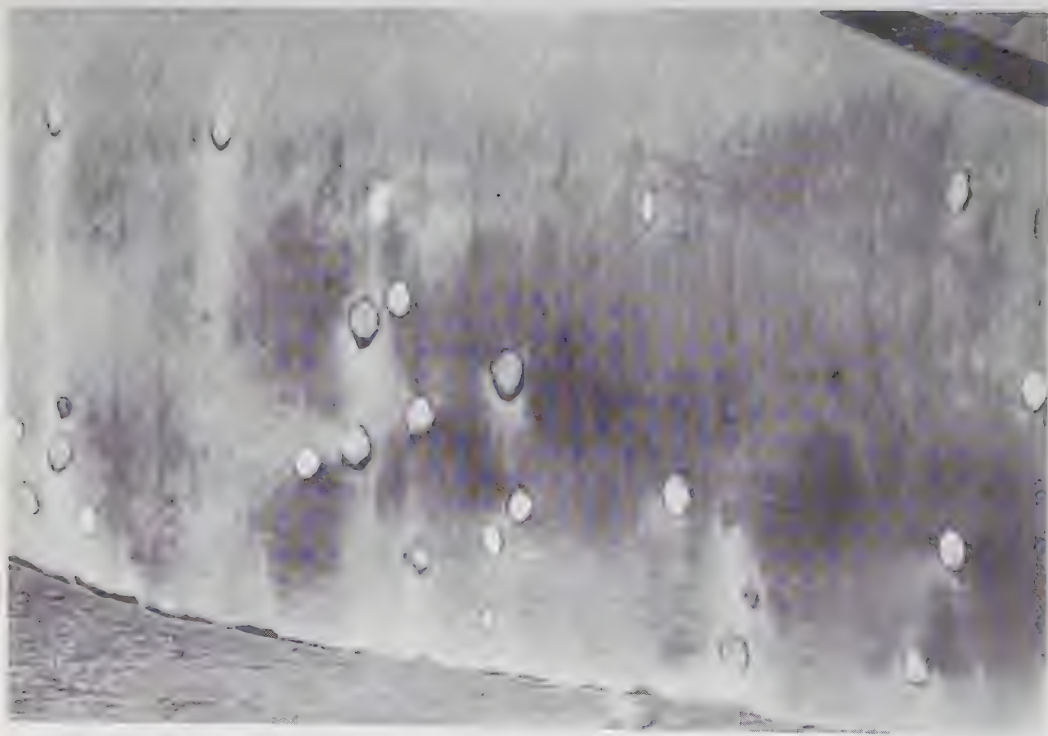


Fig.46 - Aspect circulaire des taches sur jeunes feuilles : dot-spotting.

Conclusions

A la lumière des faits que nous venons d'exposer on comprend la grande variabilité de la durée de l'incubation, qui est sous la dépendance de deux facteurs principaux :

- La température qui augmente la durée du phénomène, tant par les températures basses (décembre-janvier) que par les températures élevées (février-mars-avril) dans les conditions de Guinée. Il semble bien que durant ces périodes de l'année la température soit l'élément primordial ;
- La quantité d'inoculum. Pour une température déterminée, la durée de l'incubation est inversement proportionnelle à la quantité d'inoculum déposée sur la feuille. Dans les régions à climats réguliers favorables à la Cercosporiose ce facteur peut être le plus important.

Il est parfois difficile de discerner avec précision le rôle joué par chacun de ces deux facteurs. Les périodes défavorables à la croissance le sont en général à la production d'ascospores (sauf décembre) et pour tirer des conclusions rigoureuses, des essais en enceintes climatisées seraient nécessaires.

C - MANIFESTATION DE LA MALADIE

Cette dernière partie de l'évolution du parasite débute avec l'apparition des premiers symptômes et se poursuit jusqu'au stade final du développement de la tache. Le développement d'une tache de Cercosporiose est limité dans ses dimensions et la gravité d'une attaque est fonction du nombre de taches présentes sur la feuille. C'est pourquoi après avoir suivi l'évolution d'une lésion nous envisagerons la répartition de celles-ci sur le limbe, et l'estimation des dommages provoqués par la maladie.

1 - DESCRIPTION DES LESIONS

La petite punctuation jaunâtre qui représente le premier indice visible de la maladie évolue progressivement en une tache dont l'aspect est suffisamment caractéristique pour que soit posé sans risque d'erreur le diagnostic de Cercosporiose. Il est bien évident que cette évolution est progressive, qu'elle s'effectue par une suite de changements imperceptibles et qu'on ne saurait y distinguer des modifications brutales de l'aspect des taches. La division de cette évolution en phases est donc une opération arbitraire ; elle est néanmoins nécessaire pour décrire l'évolution de la maladie et apprécier le résultat d'expériences. On ne peut guère distinguer plus de cinq stades.

Stade I.— C'est le premier stade de la manifestation externe de la maladie. Les petites punctuations observées correspondent à l'arrivée et à la croissance d'hyphes dans les chambres sous-stomatiques et au dessèchement consécutif des cellules de garde et des cellules annexes.

Dans notre description des différents états de l'évolution, celle du Stade I est la suivante :

Le premier symptôme de la maladie se caractérise par un petit point ou tiret vert clair mesurant au maximum 1 mm de longueur.

Stade II.— A partir du moment où le mycélium interne atteint la chambre sous-stomatique se produit un phénomène décrit par STAHEL (1937) pour les infections conidiennes : le mycélium interne sort par les stomates, il devient superficiel et apparent sur les deux faces sous forme de grosses hyphes brunâtres de 3 μ environ de diamètre. Ces hyphes rampent à la surface de l'épiderme jusqu'à une distance de 2 à 3 mm de la tache initiale et pénètrent à nouveau par les stomates. Le mycélium tue les tissus sous-jacents ; la progression n'est arrêtée que par la formation d'une barrière de gomme qui délimite la tache et n'est pas traversée par le champignon.

Nous avons retrouvé ce même phénomène dans le cas d'infections provoquées par des ascospores, mais il ne se manifeste pas de façon constante. Même si ce mycélium externe n'apparaît pas, on note à l'intérieur des tissus nécrosés les mêmes hyphes de grand diamètre (3 à 4 μ).

A ce développement du mycélium correspond un accroissement des dommages et, bien que les filaments demeurent localisés dans la lamelle moyenne des parois cellulaires, le tissu palissadique est nécrosé. Ce stade se définit morphologiquement de la façon suivante :

Le point s'est transformé en un tiret de plusieurs millimètres de longueur, vert clair (Fig. 42).

Stade III.— Ce stade diffère du précédent surtout par ses dimensions. L'aspect se définit ainsi :

Jeune tache de forme ovale allongée, de coloration brun rouille assez uniforme, à contours assez mal définis se fondant progressivement avec la coloration normale du limbe. Il n'y a ni marge nette ni halo (Fig. 43).

Stade IV.— Il se caractérise par deux changements importants :

- L'extension du mycélium interne cesse. La plante oppose à la progression du parasite une barrière qui donne à la tache ses dimensions définitives. Le premier signe de formation de cette barrière est un halo décoloré à l'intérieur duquel on ne trouve pas de mycélium ;
- La différenciation des acervules et des sporodochies débute. Si les conditions climatiques sont favorables la sporulation peut être abondante dès le Stade IV.

Morphologiquement la nécrose se définit de la manière suivante :

La tache a atteint ses dimensions définitives, elle comporte un centre, brun foncé, se déprimant progressivement ; on constate le plus souvent la présence d'un halo jaune brillant (Fig. 44). Lorsque l'humidité relative est particulièrement élevée, ou qu'il se produit une turgescence marquée de la feuille, on peut observer le halo d'aspect humide décrit par STAHEL (1937) et par LEACH (1946).

Stade V.— Les cellules de la "barrière" sont remplies d'une substance amorphe jaunâtre, les vaisseaux du liber sont obstrués par cette même substance. La partie centrale de la tache se dessèche et se rétracte. En coupe on trouve un mycélium très abondant composé en majorité d'hyphes brunes de 2 à 4 μ de diamètre. Les périthèces du *M. musicola* commencent à se différencier. On note également la présence de nombreux organismes saprophytes. L'aspect de la tache est caractéristique. Il correspond au stade final de la lésion. Les tissus du centre des taches sont desséchés et présentent une couleur grise uniforme. Le halo a disparu, il est remplacé par une marge noire bien marquée qui délimite chaque tache (Fig. 45). Cette marge persiste sur des feuilles desséchées et permet de déterminer avec précision la présence de lésions de Cercosporiose sur les vieilles feuilles. Lésions qui peuvent être définies ainsi :

Les taches sont ovales plus ou moins allongées, parfois presque linéaires sur les vieilles feuilles de bananiers adultes. Elles mesurent en général 12 à 15 mm de longueur pour 2 à 5 de largeur. Le centre est généralement grisâtre, déprimé ; une marge brun noirâtre à brun rouge entoure le plus souvent la lésion ; autour de cette marge on observe parfois une frange jaunâtre. Sur les feuilles de très jeunes bananiers les taches sont parfois circulaires ou subcirculaires et mesurent 10 à 12 mm de diamètre. La tache est amphigène ; dans la zone centrale grise on peut observer sur les deux faces du limbe les divers organes de reproduction du champignon (conidiophore, périthèce, spermogonie). Aucune tache n'a jamais été relevée sur pétiole, gaine ou fruit du bananier.

A la fin de l'évolution nous observons une lésion typique de Cercosporiose, qui présente une croissance limitée. La gravité d'une attaque dépend donc du nombre de lésions présentes sur la feuille. Les symptômes globaux observés finalement dépendront donc de la quantité de lésions initiales et du degré de développement auxquelles elles parviendront.

Il existe aussi un faciès particulier décrit notamment par LEACH (1946), que TOLLENAAR (1955) appelle "dot spotting" et qui se rencontre surtout sur les jeunes feuilles, principalement sur celles de jeunes rejets après replantation. Les taches sont alors très peu allongées (Fig. 46). D'après nos observations, de telles lésions ne se produisent que dans le cas d'attaques légères, quand il n'y a pas de phénomènes de coalescence. Leur extension latérale anormale est due vraisemblablement au fait que les nervures des très jeunes feuilles opposent une faible résistance mécanique à la progression du parasite.

2 - ÉVOLUTION DES LÉSIONS

Les observations que nous avons effectuées sur l'évolution des lésions ont été réalisées uniquement en bananeraie : nous ne possédons pas d'enceintes climatisées permettant d'étudier les effets du parasite sur son hôte dans des conditions strictement définies.

Les trois aspects ci-après de l'évolution ont été envisagés.

a) Durée d'évolution de la maladie du Stade I au Stade V

TABLEAU 46

Durées extrêmes de l'évolution des lésions (en jours)

	1958		1959		1960 *	
	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima
Nain	17 (oct.)	54 (déc.)	13,4 (août)	46 (janv.)	16 (juil.)	45,1 (fév.)
Poyo	14 (sept.)	41 (déc.)	14 (août)	42,8 (janv.)	14 (juil.)	36,6 (janv.)

Les chiffres indiquent les durées maximales ou minimales relevées, le mois celui où les relevés ont été effectués (* 1960 janvier à juillet seulement).

TABLEAU 47

Durées moyennes de l'évolution des lésions (en jours)

	1958		1959		1960	
	Nain	Poyo	Nain	Poyo	Nain	Poyo
J	26	22,2	46	42,8	41,5	36,6
F	28,8	37,1	30,9	42	45,1	38,3
M	22,1	16,1	44	39,3	37,4	24,4
A	23,2	22,7	24,9	24,1	36	29,2
M	20,2	16,4	18,2	19,2	31,5	20,2
J	17,4	15,7	20,9	14,8	23,0	17,8
J	21,3	15,2	15,7	14,2	16,0	14,1
A	18	17,4	13,4	14		
S	21,9	14	18,3	16,4		
O	17	19,6	19,1	17,8		
N	46,2	35,3	23,6	31,5		
D	54	40,9	33,2	28,1		

Les nombres expriment les moyennes en jour de la durée de l'évolution entre l'apparition des premiers symptômes et la fin du développement de la tache.

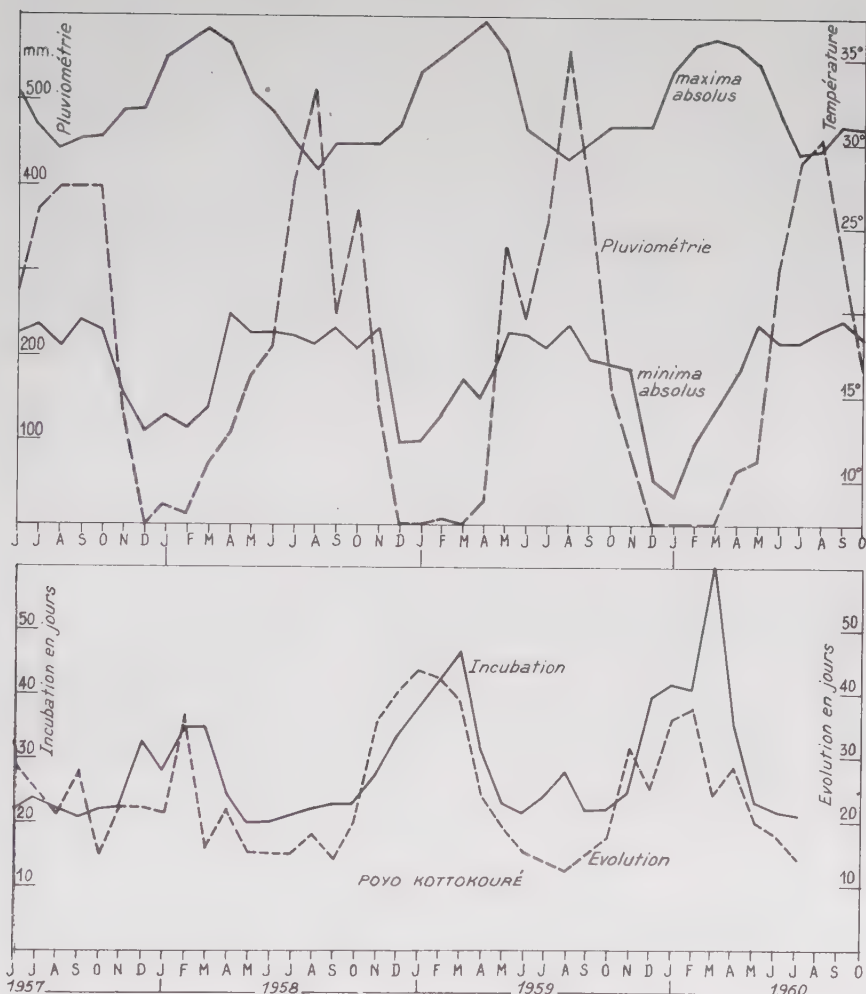


Fig.47 - Comparaison de la durée de l'incubation et de l'évolution avec les relevés météorologiques exprimés en pluviosité et en températures minimales et maximales absolues. Bananier Poyo.

Nous n'avons envisagé que l'évolution des lésions du Stade I à la fin du Stade V ; le dessèchement ultérieur de la feuille, provoqué par la coalescence des nécroses, n'a pas été étudié ici.

Comme pour la durée de l'incubation, les auteurs qui ont étudié l'évolution des nécroses signalent de grandes variations dans la durée de

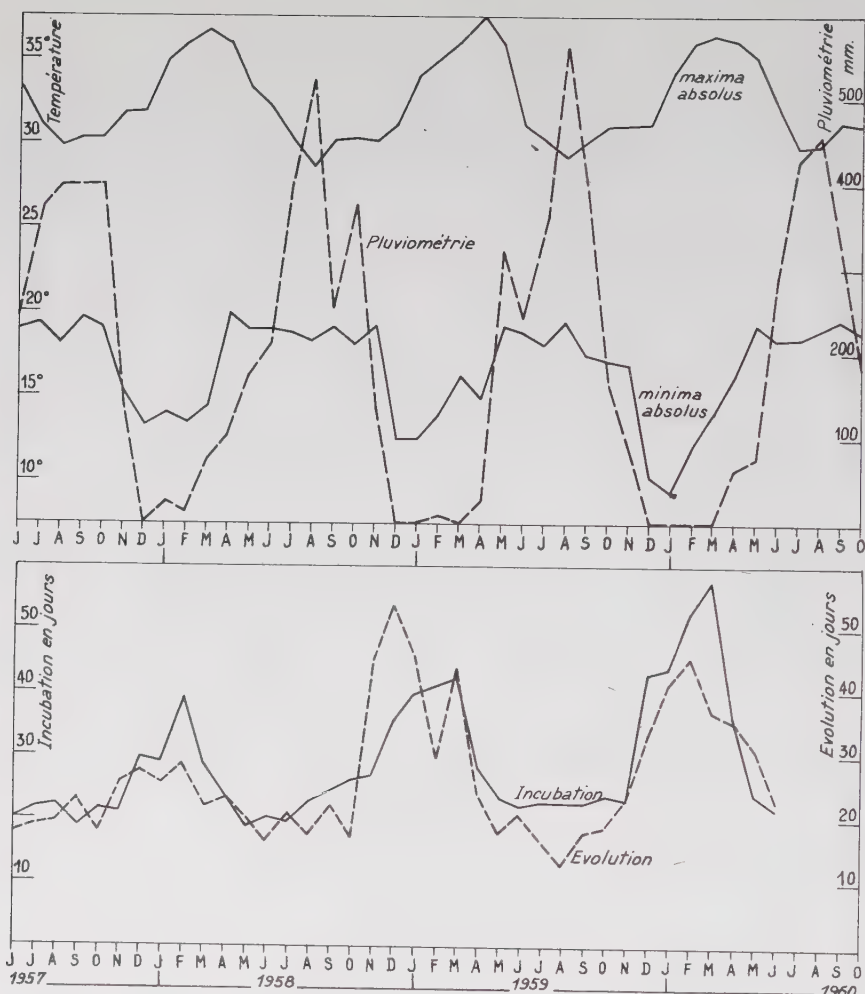


Fig.48 - Comparaison de la durée de l'incubation et de l'évolution avec les relevés météorologiques exprimés en pluviosité et en températures minimales et maximales absolues. Bananier nain.

cette phase de la maladie. Les indications publiées concernent d'ailleurs les seules attaques provoquées par les conidies. SIMMONDS (1939) donne les chiffres suivants (à partir du Stade II, car il ne semble pas que cet auteur ait observé le Stade I avec précision) :

- Entre II et III 3 à 30 jours
- Entre II et IV 8 à 30 jours
- Entre II et V 10 à 30 jours

LEACH (1946) indique des durées extrêmes de 2 à 6 semaines pour l'évolution de la tache, du Stade I à la fin du Stade V.

Nous avons effectué des relevés dans les bananeraies guinéennes durant les années 1958, 1959 et 1960 sur deux variétés différentes : Poyo et Nain. Le Tableau 46 fait mention des durées extrêmes de l'évolution des taches ; les variations sont très importantes, de 13 à 46 jours pour les Nains et de 14 à 43 jours pour les Poyos. L'examen du Tableau 47, qui indique durant la même période les durées moyennes de l'évolution d'une tache, montre également de fortes différences. Les variations de durées observées pour l'évolution des taches sont parallèles à celles que nous avons observées lors de l'étude de l'incubation. L'examen des Fig. 47 et 48 montre en effet une corrélation entre la durée de l'incubation et celle de l'évolution des lésions ; ces corrélations sont de 0,59 pour la variété Poyo et 0,72 pour les Nains.

$$r = 0,59 \text{ (N = 45 ; } y = 6,55 + 0,688 x \text{ ; } x = 15,75 + 0,512 y \text{)}$$

pour la variété Poyo, et

$$r = 0,72 \text{ (N = 38 ; } y = 4,73 + 0,776 x \text{ ; } x = 10,56 + 0,671 y \text{)}$$

pour la variété Bananier Nain.

La durée de l'évolution est donc en corrélation assez étroite avec celle de l'incubation. Nous avons cherché à préciser si les facteurs qui déterminent la durée de l'incubation sont les mêmes pour ces deux phénomènes.

Nous avons donc repris l'étude des trois points envisagés lors de l'étude de la durée de l'évolution.

Intensité de l'infection

Nous avons vu lors de l'étude de la dispersion que le dépôt des ascospores a lieu sur les côtés droit et gauche de la feuille selon un gradient décroissant du sommet vers la pétiole.

Si nous divisons une feuille en 6 parties (Fig. 49) nous savons que les zones AG et AD sont celles où le dépôt d'ascospores est le plus important. Viennent ensuite BG et BD, et enfin CG et CD. Cette répartition peut présenter quelques différences d'une feuille à l'autre, mais elle est très généralement observée lorsqu'on examine un grand nombre de feuilles.

Nous avons réalisé durant une année des observations portant sur la durée d'évolution des taches selon leur répartition dans les différents secteurs de la feuille. Les résultats, exprimés en jours, du Stade I au Stade V, sont les suivants :

Sur bananiers Poyos - Année 1957

AG = 31	BG = 36	CG = 41
AD = 31	BD = 36	CD = 41

Il existe une corrélation très nette entre la quantité d'ascospores déposées sur la feuille et la durée de l'évolution des taches.

Ces résultats sont obtenus sur des moyennes, en observant la première apparition des différents stades à l'intérieur d'une population.

Facteurs climatiques

Lors de l'étude de l'action des facteurs climatiques sur l'incubation, nous n'avons envisagé que l'action de la température puisque cette phase de l'évolution est uniquement interne et que l'état hygrométrique et la

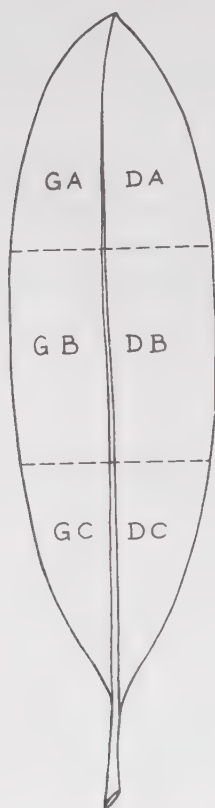


Fig.49 - Répartition des six secteurs d'observations sur une feuille de bananier. (3 à droite D, 3 à gauche G).

pluviosité ne jouent pas un rôle direct. Lors de l'évolution de la tache, l'état hygrométrique peut jouer un rôle puisque le parasite devient externe. Cependant, dans les conditions guinéennes, il est difficile de séparer ces facteurs; les mois secs sont les mois à températures extrêmes, alors que les mois à pluviosité élevée sont ceux qui présentent des températures moyennes.

Nous venons de montrer que la quantité d'inoculum joue, dans les conditions naturelles, un rôle dans la durée de l'évolution de la tache : nous avons également cherché à préciser l'action éventuelle des facteurs climatiques en effectuant des observations à partir d'inoculations expérimentales au cours de l'année. Lors de l'étude de l'incubation, nous avons étudié les variations de celle-ci en fonction des quantités variables d'inoculum, et ceci au cours d'une année (p.115). Le même essai poursuivi pendant la phase ultérieure de manifestation des symptômes a donné les résultats qu'exprime le Tableau 48. Les chiffres obtenus concernant la durée de l'évolution sont comparés à ceux observés lors de l'étude de l'incubation.

TABLEAU 48

Durée en jours de l'incubation et de l'évolution
d'une lésion en fonction de la quantité d'inoculum

	Catégories					
	I		II		III	
	Inoculation faible		Inoculation moyenne		Inoculation forte	
	Incubation	Evolution	Incubation	Evolution	Incubation	Evolution
Janv.	43 49 44	29 49 52	39 42 36	33 46 25	32 28 33	16 24 20
Fév.	56 54 56	46 61 52	42 38 44	24 53 57	30 30 35	33 20 21
Mars	58 59 64	54 34 46	47 44 46	55 54 32	Pas d'obs.	Pas d'obs.
Avril	44 40 46	44 32 45	40 41 37	34 27 32	30 28 32	37 32 32
Mai	28 24 27	25 29 18	18 18 14	16 17 19	14 16 18	15 18 10
Juin	24 26 23	16 16 15	17 20 16	14 14 15	16 16 18	15 13 14
Juil.	30 26 27	19 15 11	22 24 30	15 16 10	30 26 27	19 12 7
Août	28 29 28	23 9 14	26 24 31	19 22 23	21 24 24	8 6 10
Sept.	27 29 29	20 21 6	13 21 13	15 19 11	13 16 17	9 23 10
Oct.	34 32 38	24 21 39	24 19 13	21 8 9	13 15 16	11 7 12
Nov.	36 32 29	60 57 22	24 22 14	19 38 17	14 17 19	14 14 11
Déc.	52 47 49	50 50 49	39 34 33	49 37 44	33 31 26	54 18 28

Pour chaque catégorie (inoculation faible, moyenne et forte), le Tableau indique les durées, en jours, de l'incubation et de l'évolution de trois taches au cours de l'année. Par exemple, en janvier, Catégorie I, à des durées d'incubation de 43, 49 et 44 jours correspondent respectivement des durées d'évolution des taches de 29, 49 et 52 jours. Les résultats obtenus sont transcrits sur la Fig. 50, qui compare les durées d'incubation et d'évolution.

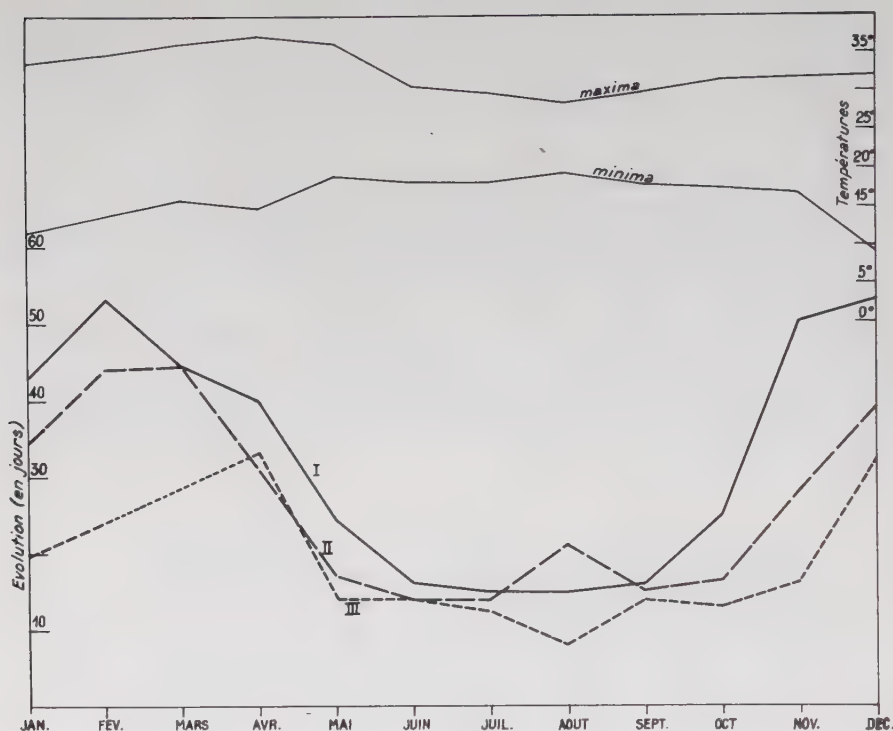


Fig. 50 - Comparaison des durées de l'incubation et de l'évolution obtenues suivant les quantités d'inoculum avec les relevés météorologiques.

Nous avons effectué nos observations en prenant comme origine le moment de l'inoculation ; or il est bien certain qu'aux périodes de transition, entre deux saisons, la première partie du développement peut se produire à une saison différente de celle de la fin de l'évolution. Nous avons représenté graphiquement de telles évolutions à des périodes de transition : mars-avril-mai et octobre-novembre-décembre, dans les cas d'inoculations fortes et faibles (Fig. 51).

Les résultats peuvent être groupés en deux catégories :

- Ceux où l'action des facteurs climatiques sur l'évolution de la maladie paraît prépondérante.- C'est le cas des exemples 1 et 6, dans les Catégories I et III : quelle que soit la quantité d'inoculum, l'évolution est longue ;
- Ceux où l'action de la quantité d'inoculum sur l'évolution de la maladie paraît prépondérante.- C'est le cas des exemples 3 et 4 en Catégorie I,

3, 4 et 5 en Catégorie III. En effet, dans ces cas l'évolution est relativement lente pour la Catégorie I (inoculum faible) et rapide pour la Catégorie III (inoculum abondant) et ceci quoique les conditions climatiques soient favorables.

Nous voyons que dans le cas de conditions climatiques défavorables celles-ci sont prépondérantes ; au contraire, dans le cas de conditions favorables, c'est la quantité d'inoculum qui joue le rôle principal. Ces conclusions concernant l'évolution rejoignent celles que nous avons énoncées pour l'incubation.

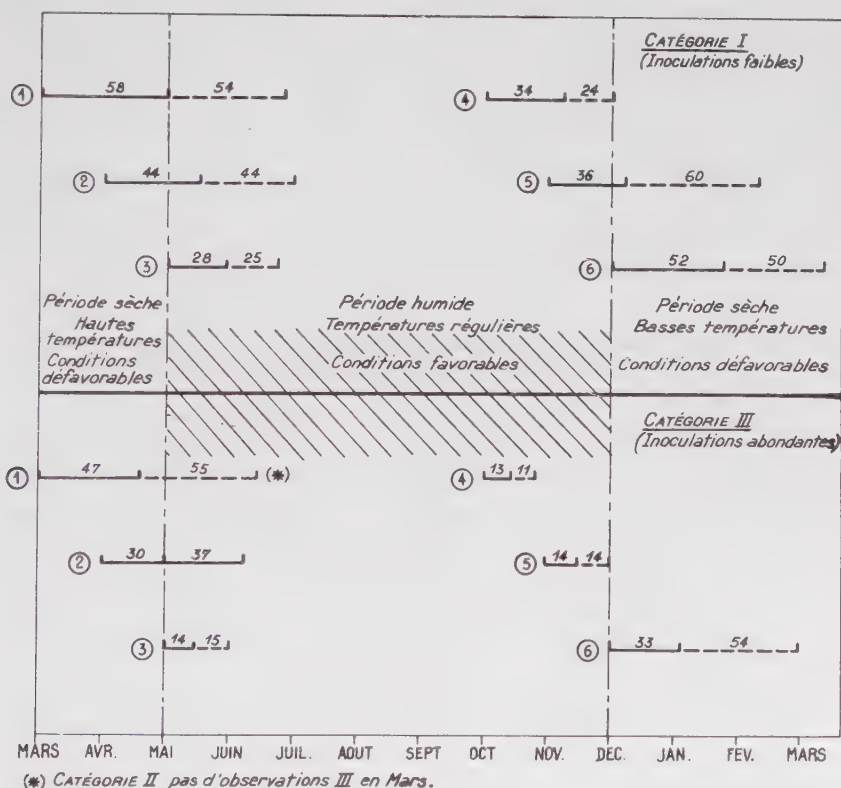


Fig. 51 - Exemples de durées cumulées de l'incubation et de l'évolution suivant la quantité d'inoculum et les conditions climatiques.

Vitesse de croissance du bananier

Un troisième facteur avait été envisagé lors des études consacrées à l'incubation, c'est la vigueur végétative du bananier. Nous n'avons pas relevé de différence quant à la rapidité de l'évolution des taches quelle que soit la vigueur végétative pour la période s'écoulant entre la première strie (I) et la première nécrose (V).

Groupe à croissance rapide : moyenne 17,3

Groupe à croissance lente : moyenne 18,1

$$t = \frac{18,1 - 17,3}{1,63} = 0,74 \quad (1,63 = \text{écart-type})$$

Il n'y a pas de différence significative au seuil 1 % du test de t.

b) Durée d'évolution de la maladie stade par stade

Les observations sont effectuées selon deux méthodes. La première consiste à observer les durées des différents stades à l'intérieur d'une population de taches présentant des degrés variables d'intensité, c'est-à-dire à tester le rôle de la quantité d'inoculum. La seconde à observer les variations au cours de l'année, c'est-à-dire à tester l'action des facteurs climatiques.

Durée d'évolution des lésions en fonction de l'intensité de l'infection

TABLEAU 49

Durée moyenne d'évolution des stades selon l'intensité de l'attaque (exprimée en jours)

	Stade I - II	II - III	III - IV	IV - V
AG	9,8	10,5	4,6	6,3
AD	9,3	10,7	5	5,7
BG	11,4	11	6,9	6,8
BD	12	11,7	7,3	5,5
CG	14,7	11,8	7,8	6,5
CD	13,9	11,4	8,7	7,3
Durée moyenne	11,8	11,2	6,7	6,4
Part en p.cent de chaque stade dans la durée totale de l'évolution	32,7	30,9	18,6	17,8

Les chiffres ont été obtenus en mesurant la durée de l'évolution des lésions selon leur position sur la feuille (p.127). Ils expriment, en jours, le temps de passage d'un stade au suivant selon la position sur la feuille, donc selon l'intensité de l'attaque, celle-ci étant décroissante de A vers C (voir Tableau 49).

La durée des premiers stades est plus longue que celle des derniers. Le temps de passage de I à II est à peu près identique à celui de II à III, mais pour III à IV et IV à V ces durées sont beaucoup moins importantes, elles sont moitié moindres.

Les effets de la gravité des attaques se retrouvent pour chaque stade ; ils sont cependant légèrement moins accusés pour les derniers stades que pour les premiers.

Variations de durée des différents stades au cours de l'année

Si nous envisageons les variations au cours de l'année, nous obtenons les résultats suivants, exprimés dans le Tableau 50 (chiffres moyens obtenus avec trois répétitions - observation individuelle des taches).

TABLEAU 50

Variations de durée des différents stades au cours de l'année

	Durée Stade I-II	p.cent	Durée Stade II-III	p.cent	Durée Stade III-IV	p.cent	Durée Stade IV-V	p.cent
Janv.	16,8	35,7	13,1	27,8	9,4	20	7,7	16,3
Fév.	18	33,9	17,5	33	10,9	20,5	6,6	12,4
Mars	22,1	36,8	18,8	31,3	11,7	19,5	7,4	13,3
Avril	14,3	35,5	11,8	29,3	7,5	18,6	6,6	16,4
Mai	7,8	31,2	8,4	33,6	3,7	14,8	5,1	20,4
Juin	5,2	31,1	4,9	29,3	4,3	25,7	2,3	13,7
Juil.	5,3	35,8	4,2	28,3	2,5	16,9	2,8	18,9
Août	6,1	40,3	4	26,4	2,1	13,9	2,9	19,2
Sept.	4,8	28,7	5,3	31,7	4,5	26,9	2,1	12,5
Oct.	7,4	36,1	5,9	28,7	3,9	19	3,3	16,1
Nov.	17,1	31,6	16,5	30,5	10,3	19	10,2	19
Déc.	16	31,7	15,6	31	9,7	19,2	9,1	18
Moyennes	11,7	34	10,5	30,4	6,7	19,4	5,5	16

L'ensemble des chiffres montre une grande variation dans la durée du phénomène : 60 jours en mars, 15 en août, soit un rapport de 4 à 1, ce que nous savions déjà. Par contre, l'étalement respectif des différents stades ne présente pas de variations aussi importantes et semble moins étroitement lié aux différents facteurs influençant la durée globale de l'évolution.

c) Durée d'évolution d'une lésion individuelle

Nous avons observé à un moment déterminé, 18/9 - 29/10/1960, l'évolution de 20 taches toutes parvenues au Stade I le 18/9. Les résultats sont groupés dans les Tableaux 51 et 52. Il s'agit de taches isolées ; d'autre part, les conditions météorologiques sont identiques. Or nous observons des différences très importantes ; les extrêmes sont les suivants :

TABLEAU 51

Variations constatées dans la durée des différents stades pour 20 taches analysées individuellement

Côté gauche de la feuille																			
Numéro des taches	Dates d'observations																		
	18/9	20	22	24	27	29	1/10	3	6	10	13	15	17	20	23	25	27	29	
1	I				II									III				V	
2	I					II								III					
3	I											II				III			
4	I													II	III				
5	I					II												IV	
6	I				II									III				IV	
7	I				II												III	IV	
8	I						II										III	IV	
9	I										II						III	IV	
10	I				II												III		
11	I										II						III		
12	I						II												
13	I								II								III		
14	I				II													III	
15	I				II												III		
16	I					II													
17	I								II								III		
18	I				II														
19	I													II					
20	I					II											III		

Stade I - II

II - III

III - IV

IV - V

Côté droit 4 à 24 jours 8 à 19 1 à 10 1 à 7

Côté gauche 9 à 32 jours 1 à 30 1 à 10 x

De telles variations sont évidemment très supérieures à celles que l'on note pour les observations globales.

Si l'évolution de l'ensemble d'une population de taches peut être mise en relation avec des conditions déterminées, l'évolution individuelle des

taches à l'intérieur d'une population est beaucoup plus délicate à préciser. On peut toutefois admettre que, même si chaque lésion est provoquée par des spores de même génotype, le développement se produit dans un milieu hétérogène, aussi bien du point de vue mécanique, physique que chimique. Ce milieu hétérogène que représentent les tissus de la feuille explique qu'il existe des variations dans l'évolution de la tache, notamment en ce qui concerne le pourcentage de taches se développant du Stade I au au Stade V.

TABLEAU 52

Variations constatées dans la durée des différents stades
pour 20 taches analysées individuellement

Côté droit de la feuille																		
Numéro des taches	Dates d'observations																	
	18/9	20	22	24	27	29	1/10	3	6	10	13	15	17	20	23	25	27	
1	I				II					IV				V				
2	I					II			III	V								
3	I				II				III					IV			V	
4	I				II							III		IV			V	
5	I										II			III			V	
6	I				II					III	IV			V				
7	I									II			III	IV	V			
8	I		II						III	IV	V							
9	I					II						III	IV	V				
10	I									II		III				IV	V	
11	I														II	III	V	
12	I				II						IV							
13	I				II					III	IV	V						
14	I				II					III	IV	V						
15	I				II					IV	V							
16	I					II			III	V								
17	I				II				III	V								
18	I				II				III	V								
19	I					II				III	IV	V						
20	I					II					IV	V						

Pourcentage de stries évoluant du Stade I au Stade V

Divers phénomènes peuvent intervenir qui empêchent l'évolution normale d'une tache. Les deux plus fréquents sont les suivants :

- **Coalescence des jeunes taches.**— Les taches deviennent souvent et précocement confluentes. Dans le cas d'attaques très graves cette confluence peut se produire dès le Stade III. Il n'y a pas alors formation de halo ; les symptômes initiaux se présentent sous forme de bandes grisâtres très étroites, parallèles entre elles à l'intérieur de plages nécrosées d'importance variable. Si le nombre de lésions est

très élevé, chaque tache se réduit alors à une ligne n'occupant que l'étroit intervalle compris entre deux nervures secondaires ;

Dans le cas où l'attaque est moins importante, la coalescence se produit plus tardivement ; si elle a lieu au Stade IV, les taches ne présentent pas de marge noire ; par contre, cette marge subsiste si la fusion des lésions a lieu très tardivement. Dans ce cas, au lieu d'observer des taches ovales caractéristiques présentant un liseré noir assez large, on constate la présence de très nombreuses stries limitées par une étroite ligne noirâtre ;

- Arrêt du développement de la tache. — Il est fréquent que la lésion ne dépasse pas les Stades II et III lorsque le climat est défavorable. LEACH (1946) puis HOLLIS (1954) ont étudié cet arrêt, sans d'ailleurs bien l'expliquer.

Il semble que le mycélium du *M. musicola* soit particulièrement sensible à toute influence défavorable au début de sa croissance. Le Tableau 53 montre qu'en moyenne la probabilité d'évolution totale est d'autant plus élevée que la lésion est parvenue à un stade plus avancé, c'est-à-dire que c'est surtout durant les premiers stades que la tache peut cesser d'évoluer et ne pas atteindre le stade final.

TABLEAU 53
Pourcentages d'évolution des taches de
I à V, de II à V, de III à V

1)	Evolution des stries de I à V	A	90	76
		B	60	
		C	78	
2)	" " II à V	A	84	81
		B	80	
		C	85	
3)	" " III à V	A	96	93
		B	93	
		C	94	

Observations effectuées au début de la saison des pluies (mai) 3 répétitions A-B-C (la gravité des attaques est comparable).

Discussion

De telles observations sont très délicates à réaliser. En effet, au cours de l'évolution il apparaît de nombreuses stries nouvelles. Il est donc nécessaire de marquer chaque tache avec précision tout en évitant de léser les tissus qui l'entourent. D'autre part, les phénomènes de coalescence sont très fréquents, ce qui amène à effectuer des observations sur des taches bien isolées ; or nous savons que les taches isolées évoluent moins rapidement que les taches groupées. Néanmoins, les observations que



Fig.52 - Préfoliation du bananier, on observe le double enroulement des demi-limbes droit et gauche.

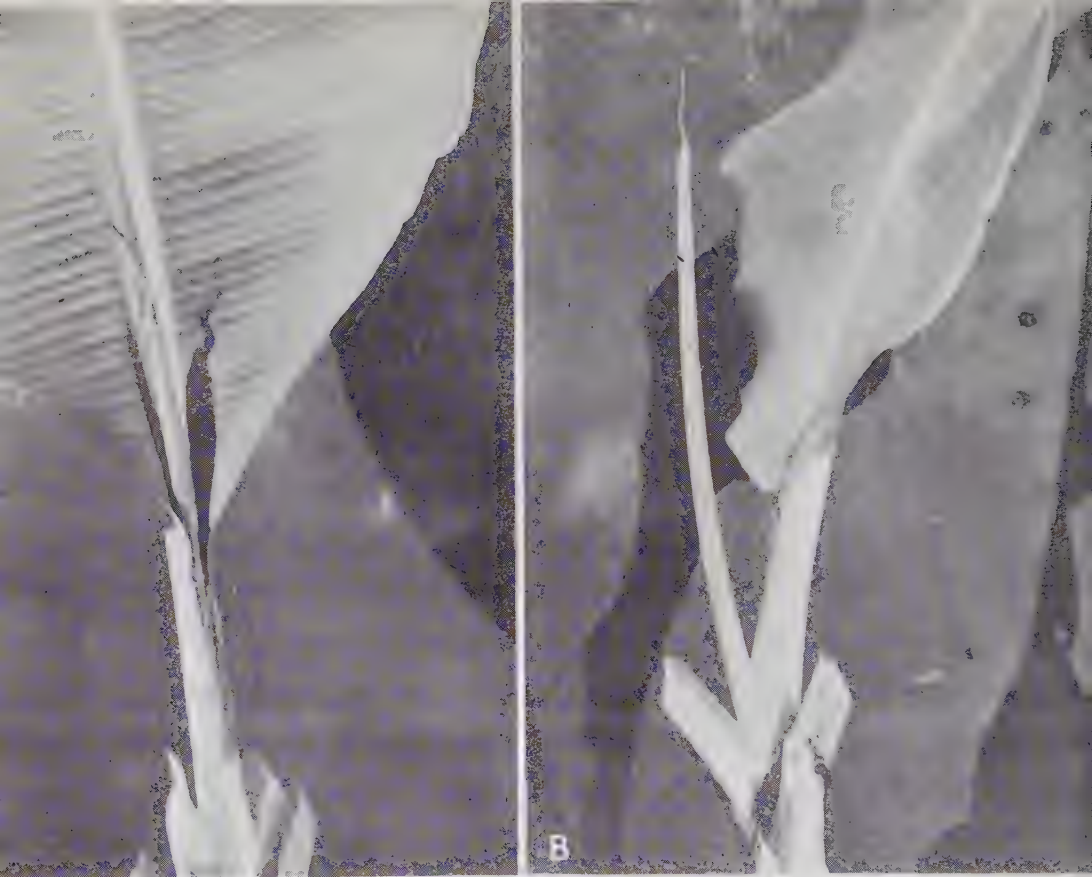


Fig.53 - Stade A du déroulement
d'un jeune cigare.

Fig.54 - Stade B du déroulement
d'un jeune cigare.

Fig.55 - Stade C du déroulement
d'un jeune cigare.

Fig.56 - Stade D du déroulement
d'un jeune cigare.

Fig.57 - Stade E du déroulement
d'un jeune cigare.



nous avons pu réaliser tendent à montrer que la probabilité d'évolution d'une tache de I à IV est sous la dépendance des mêmes facteurs que la durée de l'incubation et de l'évolution, c'est-à-dire : quantité d'inoculum et facteurs climatiques.

Nous avons observé en mars l'évolution de 100 taches isolées. A cette période de l'année les conditions climatiques sont défavorables et la quantité d'inoculum est faible. Les pourcentages d'évolution jusqu'au stade final des taches parvenues à des degrés croissants de développement sont les suivants :

I à V	42 %
II à V	67 %
III à V	88 %

Le pourcentage des taches évoluant normalement est relativement faible puisque 58 % des taches observées au Stade I n'atteignant pas le Stade final V.

Nous avons effectué en juin et en octobre des observations identiques, mais à ces périodes de l'année les conditions climatiques sont plus favorables et nous avons observé des taches beaucoup plus groupées qui correspondaient à une quantité d'inoculum beaucoup plus importante par unité de surface. Les pourcentages d'évolution sont les suivants :

<u>Juin</u>	<u>Octobre</u>
I à V..... 82 %	I à V..... 83 %
II à V..... 87 %	II à V..... 93 %
III à V..... 94 %	III à V..... 97 %

Le pourcentage des taches évoluant normalement est beaucoup plus élevé puisque pour les premiers stades 18 % et 17 % seulement des taches n'atteignent pas le Stade V.

Ces chiffres montrent bien l'influence des conditions climatiques et de la quantité d'inoculum. Il n'en reste pas moins vrai que les variations individuelles peuvent se montrer très importantes dans des conditions climatiques équivalentes et à la suite d'attaques présentant des gravités comparables. C'est ce que montrent les Tableaux 51 et 52 retraçant l'évolution de 40 lésions.

3 - RÉPARTITION DES LÉSIONS SUR LE LIMBE

L'examen des lésions sur le limbe des feuilles de bananier permet de constater différents types de répartition qui ont été expliqués par STAHEL (1937) en ce qui concerne les infections conidiennes et en partie par LEACH (1946) pour les infections ascospores.

Ces deux auteurs ont montré que la répartition des lésions était sous

la dépendance de deux facteurs :

- Le déroulement de la feuille,
- Le type de spores et leurs modes de transport.

a) Déroulement de la feuille

La préfoliation du bananier est du type convoluté et la jeune feuille est enroulée suivant une double spirale. Le demi-limbe droit est logé au creux de la nervure centrale, tandis que le demi-limbe gauche entoure à la fois la nervure et le côté droit (Fig. 52).

Le temps nécessaire au déroulement complet d'une feuille est variable. Il est d'une semaine environ en période climatique favorable et peut demander quinze à vingt jours lorsque les conditions sont défavorables (sécheresse, malnutrition, etc.).

Pour bien comprendre ce déroulement il faut se rappeler que la formation de la feuille s'accomplit avant sa sortie, à l'intérieur du pseudo-tronc. Elle s'y présente comme un rouleau très serré, blanchâtre, particulièrement fragile.

La sortie de la feuille résulte d'une croissance extraordinairement rapide de la gaine foliaire (4 mètres en 10 jours pour la variété Gros Michel). La jeune feuille se glisse dans le canal pétioleaire de la feuille précédente et le développement d'une feuille correspond à deux phénomènes successifs : un phénomène de "croissance", un phénomène de "déroulement".

Pour la facilité de l'exposé nous avons distingué durant le déroulement cinq stades successifs. Ceux-ci sont définis arbitrairement, car il s'agit en réalité d'un phénomène continu ; on peut considérer que les deux premiers stades correspondent à la "croissance", le troisième stade représente la fin de la croissance et le début du déroulement, les quatrième et cinquième intéressent le déroulement.

Nous les avons définis de la façon suivante :

- Stade A (Fig. 53).— Le "cigare", long d'une dizaine de centimètres, est encore accolé à la nervure principale de la feuille précédente ;
- Stade B (Fig. 54).— Le cigare grandit, mais il n'atteint pas encore sa longueur définitive ;
- Stade C (Fig. 55).— Le cigare est entièrement dégagé. Il a atteint sa longueur maximale et son diamètre a considérablement augmenté au sommet par suite du relâchement des spires ;
- Stade D (Fig. 56).— Le côté gauche est déjà déroulé ; au sommet l'extrémité du cigare s'étale ;

- Stade E (Fig. 57).— Toute la partie supérieure de la feuille est déroulée, la base est en cornet largement ouvert.

Dans les pages qui vont suivre, nous utiliserons l'indicatif de ces cinq stades chaque fois que nous devrons renvoyer à une période de déroulement de la feuille du bananier.

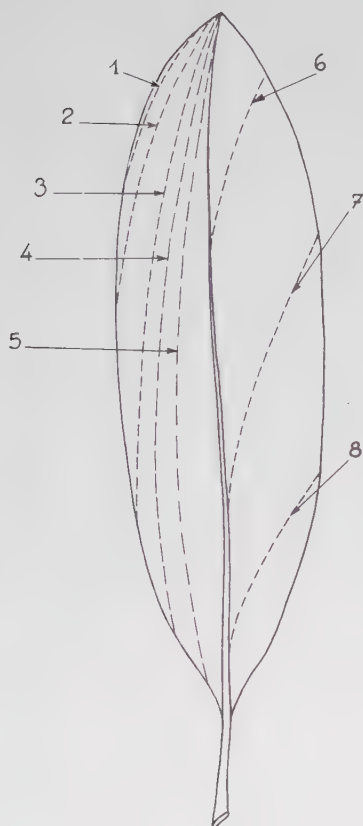


Fig.58 - Détermination des zones journalières de déroulement sur un jeune cigare.

En utilisant la technique préconisée par LEACH (1941), laquelle consiste à tracer chaque jour une ligne le long du bord du limbe sur le cigare en cours de déroulement, on obtient une série de lignes (Fig. 58) qui permettent de constater que :

- Le déroulement du demi-limbe gauche demande plus de temps que le droit (5 jours contre 3 dans l'exemple choisi) ;

- Le déroulement du demi-limbe droit est franchement oblique et la base se déroule après le sommet.

Ce schéma du déroulement de la feuille va nous aider à comprendre le faciès de l'infection conidienne.

b) Infection par les conidies (Fig. 59)

L'infection par le moyen des conidies se reconnaît sur le limbe à l'apparition de nécroses distribuées en lignes, d'où le nom de "line spotting" donné par les auteurs anglo-saxons à cet aspect de la maladie. Cette répartition en ligne s'explique de la façon suivante.

La formation des conidies a lieu durant la nuit et leur libération s'effectue généralement le matin. A ce moment là, l'eau de ruissellement, pluie ou rosée, entraîne en abondance des conidies. Cette eau tombe sur les feuilles et le cigare des jeunes rejets situés en dessous. La pénétration de l'eau de pluie ou de rosée dans les replis du cigare s'effectue par capillarité et les conidies sont déposées le long du bord gauche du limbe durant les Stades A, B et C. Ensuite, aux Stades D et E, le glissement des gouttelettes d'eau a lieu directement à l'intérieur du cornet que forme la jeune feuille. Lorsqu'apparaîtront les nécroses consécutives à ces infections, elles seront disposées en plusieurs lignes étroites parallèles au bord gauche du limbe, tandis que du côté droit ces lignes seront plus obliques et généralement en bandes plus larges. La disposition de ces lésions est en relation d'une part avec la libération intermittente des conidies et d'autre part avec les différentes phases du déroulement de la feuille que nous venons de décrire. Chaque fois que dans une bananeraie on constate la présence de nécroses en ligne, on peut admettre que ce sont des conidies qui ont provoqué ces lésions.

La présence de plusieurs lignes n'est pas toujours observée. Si l'attaque est unique et se produit au début du déroulement, on ne notera qu'une étroite bande nécrotique située à l'extrémité supérieure du limbe gauche; si au contraire l'attaque est plus tardive, on observera une nécrose à la base du côté droit du limbe.

c) Infection par les ascospores (Fig. 60)

Répartition par ascendances verticales

Dans le cas d'attaques dues à des ascospores, les nécroses sont réparties de façon beaucoup plus homogène que lorsqu'il s'agit d'une infection par les conidies. Elles occupent les deux côtés du limbe et leur abondance est particulièrement notable au sommet de la feuille, d'où le nom de "tip spotting" donné à ce faciès.

Cette répartition s'explique par les dépôts provoqués par des ascendances



Fig.60- *en haut*:Symptômes typiques succédant à une inoculation à partir d'ascospores.



Fig.61- *en bas*:Disposition des lésions sur le limbe à la suite d'attaques succédant à une répartition latérale d'ascospores.

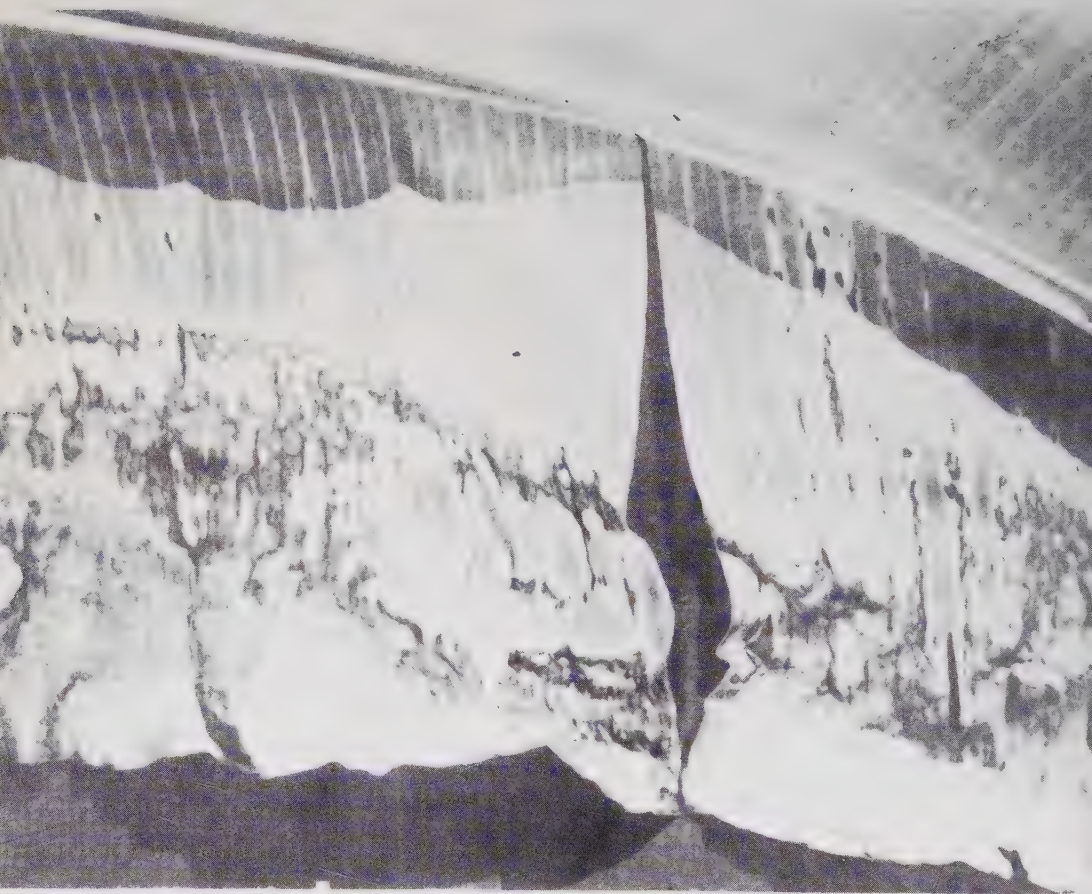


Fig.59 - Symptômes typiques succédant à une inoculation à partir de conidies : line spotting.



Fig.60- *en haut*:Symptômes typiques succédant à une inoculation à partir d'ascospores.



Fig.61- *en bas*:Disposition des lésions sur le limbe à la suite d'attaques succédant à une répartition latérale d'ascospores.

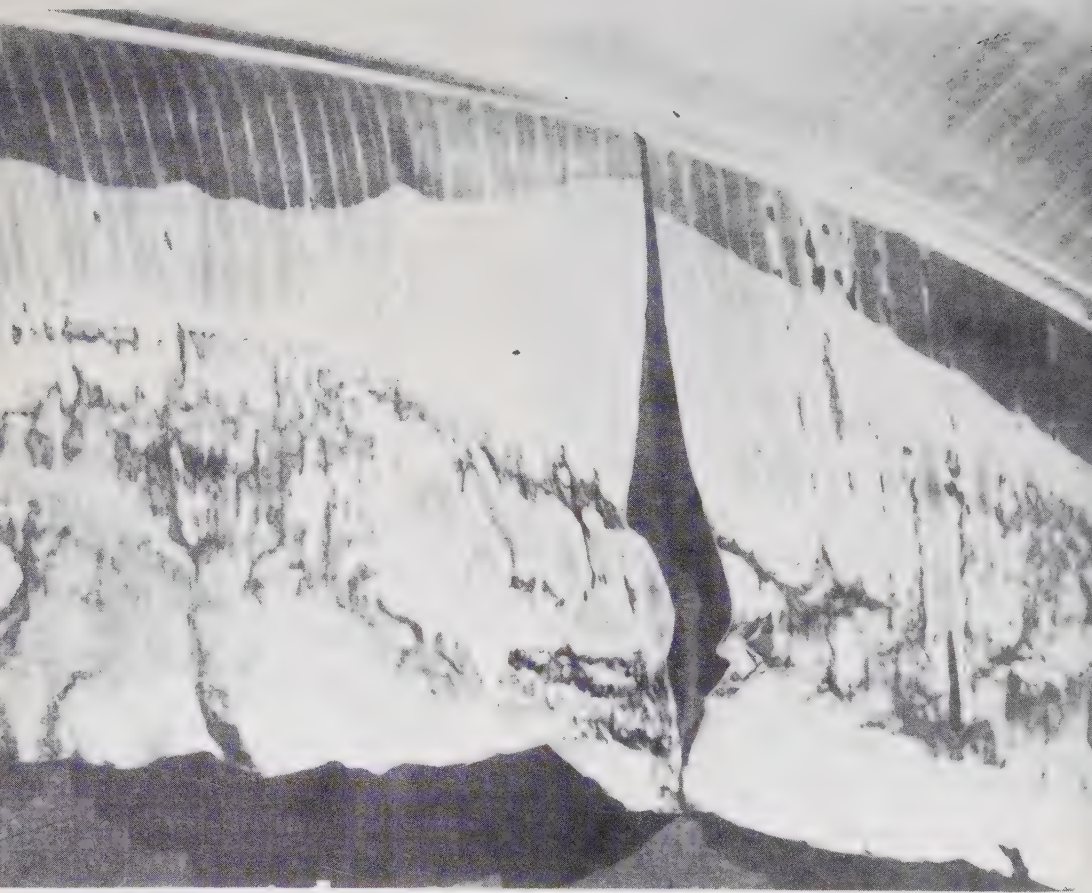


Fig.59 - Symptômes typiques succédant à une inoculation à partir de conidies : line spotting.

verticales ; les ascospores sont alors déposées de chaque côté des feuilles déjà ouvertes (LEACH, 1946).

Répartition par transport latéral dû au vent

Nous avons montré précédemment que le transport latéral par les courants aériens peut emporter les ascospores à grande distance, les disperser largement et entraîner ainsi la généralisation rapide de la maladie sur un grand nombre de bananiers. La caractérisation des symptômes provoqués sur le feuillage à la suite d'une telle dispersion est plus délicate que celle des deux types classiques que nous venons rapidement d'évoquer.

On n'a pas encore décrit les effets de ce mode de transport des ascospores. Ils diffèrent selon qu'il s'agit d'un dépôt sur de jeunes feuilles ou sur l'ensemble du feuillage.

• Sur de jeunes feuilles :

Le dépôt latéral des ascospores sur le cigare a été envisagé au chapitre précédent. Les symptômes manifestés se différencient très peu du "tip spotting" classique ; la différence réside surtout dans une localisation moins nette vers le sommet et dans une inégalité possible de la répartition des taches entre les deux côtés du limbe.

• Sur l'ensemble du feuillage :

Feuillage sain.- Si l'inoculum est abondant, une tornade provoque une attaque généralisée du feuillage. Ce cas est fréquent en Guinée, dans de jeunes bananeraies replantées en mai-juin, qui présentent un feuillage sain au moment des tornades d'octobre-novembre. La localisation des lésions dans la partie apicale de la feuille est beaucoup moins nette que dans le cas du "tip spotting". La densité des taches reste évidemment fonction du nombre de germes déposés sur les feuilles (Fig. 61) ;

Feuillage déjà atteint.- Les effets provoqués par le dépôt d'ascospores transportées par des tornades seront peu visibles. Les symptômes se superposent à d'autres déjà existants et sont peu distincts dans le cas d'attaques d'égale intensité ou d'intensité plus faible. On peut toutefois noter des aggravations très visibles si une attaque légère est suivie d'autres plus violentes. Ce type d'attaque est classique en Guinée au début des pluies. On observe des feuilles âgées, portant quelques nécroses éparses, qui, brutalement, présentent des attaques beaucoup plus graves. Ce cas rejoint celui signalé par LEACH (1946).

4 - ESTIMATION DES DOMMAGES

Dans les conditions climatiques de la Moyenne Guinée on constate deux périodes bien tranchées : une saison humide à températures peu variables

et une saison sèche présentant des variations très amples de température. Ceci entraîne des changements très importants dans l'intensité de la Cercosporiose au cours de l'année. Ces conditions particulières sont favorables à une étude de l'action des différents facteurs climatiques sur l'évolution de la maladie.

Nous avons été amené à établir différents protocoles d'observations afin de pouvoir chiffrer l'intensité de la maladie et relier ses variations aux observations météorologiques.

a) Méthodes d'observation

Les observations ont été réalisées en deux stations différentes, situées l'une dans la bananeraie de la Ouatamba qui est soumise aux traitements fongicides habituels de cette zone de culture, du 15 Avril au 15 décembre, l'autre dans la bananeraie du Kottakouré qui ne reçoit aucun traitement fongicide. Les soins culturaux sont sensiblement comparables pour ces deux bananeraies distantes d'environ 2 km. Dans chacune des deux plantations a été disposé un abri météorologique type O.N.M. contenant un thermo-hygromètre enregistreur et des thermomètres à maxima et à minima. Les relevés effectués sous ces deux abris se sont avérés presque identiques. On peut donc admettre qu'entre ces deux plantations les variations observées dans l'intensité de la maladie sont dues aux conséquences des traitements anticryptogamiques.

Observations concernant la maladie

On relève trois fois par semaine, sur 6 bananiers de deux variétés, Nain et Poyo, les indications suivantes :

- Date de l'apparition des premiers symptômes : Stade I, puis des différents Stades II, III, IV, V ;
- Degré de dessèchement de la feuille. Il est noté de la façon suivante :

20	-	jusqu'à l'apparition des premiers Stades V
19	-	apparition des premiers Stades V
15	-	1/4 de la feuille nécrosé
10	-	1/2 "
5	-	3/4 "
0	-	4/4 "

Le limbe de chacune des feuilles est divisé en six secteurs (Fig. 49) sur chacun desquels les notations indiquées ci-dessus sont effectuées.

Pour chaque feuille on totalise les notes données à chaque secteur ; le total obtenu est de 120 (20×6) pour une feuille entièrement saine et de 0 pour une feuille entièrement nécrosée. Les notes sont transformées en pourcentage de surface saine ; le chiffre obtenu définit l'indice sanitaire de la feuille.

Ces observations générales, complétées par l'examen de taches repérées, permettent de se rendre compte avec une très grande précision de la vitesse d'évolution de la maladie.

Observations concernant le bananier

- Dates des stades de déroulement des feuilles.
- Marquage des feuilles, selon un numérotage croissant de la première feuille émise à la dernière feuille déroulée.
- Date de floraison.

Comme l'émission des feuilles cesse lors de la floraison, les observations sont reprises sur un autre bananier.

Nous nous sommes efforcé de faire porter nos mesures principalement sur des attaques provoquées par des ascospores. Nous savons que les conidies sont véhiculées par l'eau, depuis les vieilles feuilles atteintes jusqu'aux jeunes feuilles des rejets situés en dessous ; il suffit donc de s'adresser à des bananiers qui ne sont pas situés sous d'autres plus élevés. Ceci est relativement facile en Guinée où la culture "à un seul porteur" est la seule adoptée. Chaque fois qu'un nouveau pied est observé, on supprime le pied-mère porteur s'il est encore en végétation. Il est bien certain que les feuilles développées au moment où l'on commence les observations peuvent être contaminées par des conidies, mais sur le jeune cigare nos observations débutent au Stade A ; il est donc indemne de toute contamination antérieure. Nous pouvons ainsi considérer que les attaques sur cette feuille seront dues en très grande partie à des ascospores. Ceci a d'ailleurs été vérifié par l'observation directe des spores sur les jeunes cigares ; on n'y note pas de conidies.

b) Représentation graphique de la maladie

Les résultats ainsi obtenus nous ont permis de représenter graphiquement l'évolution de la maladie, selon les deux méthodes suivantes :

Indice sanitaire moyen

L'indice sanitaire moyen d'un bananier est obtenu en faisant la moyenne des indices sanitaires des quatrième, cinquième et sixième feuilles.

Le choix des quatrième, cinquième et sixième feuilles, comptées à partir du cigare, n'est pas arbitraire, car c'est à leur niveau que se situent les variations visibles de la maladie. En effet, il y a peu d'attaques parvenues au-delà de la phase d'incubation avant la quatrième feuille et, d'autre part, les feuilles plus âgées 7, 8, 9 sont souvent desséchées lors

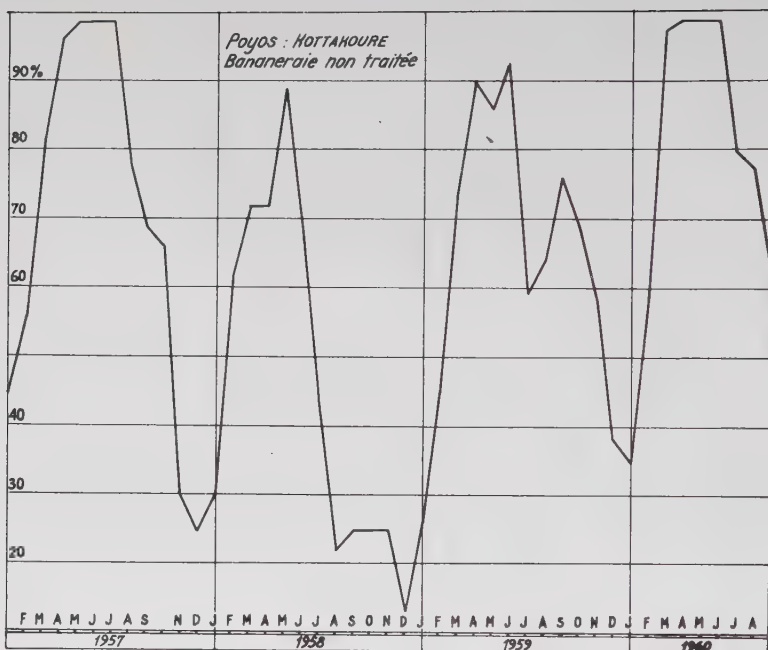


Fig. 62

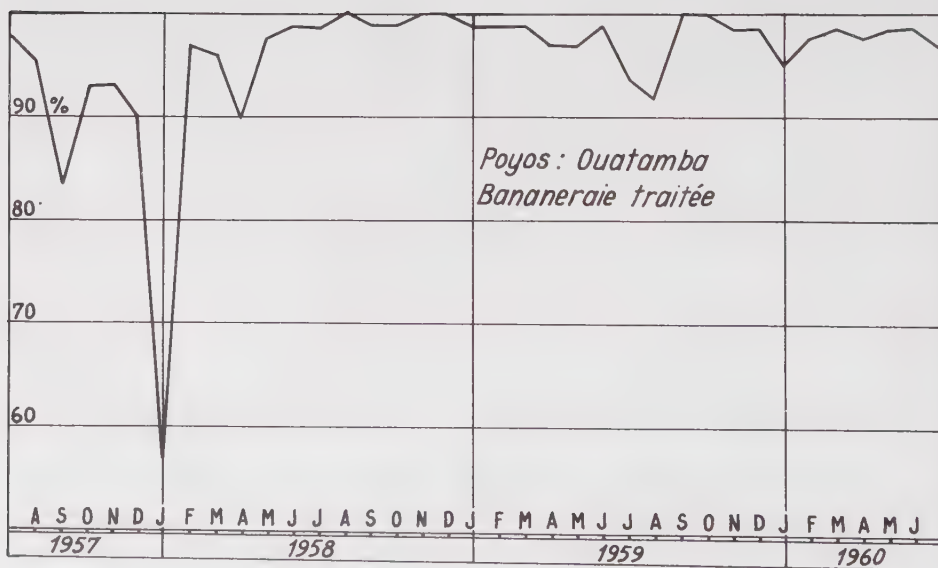


Fig. 63

noter les nécroses qui en résultent. Ceci explique le décalage constaté entre les variations des éléments du climat et leur effet sur l'indice sanitaire moyen (Fig. 66).

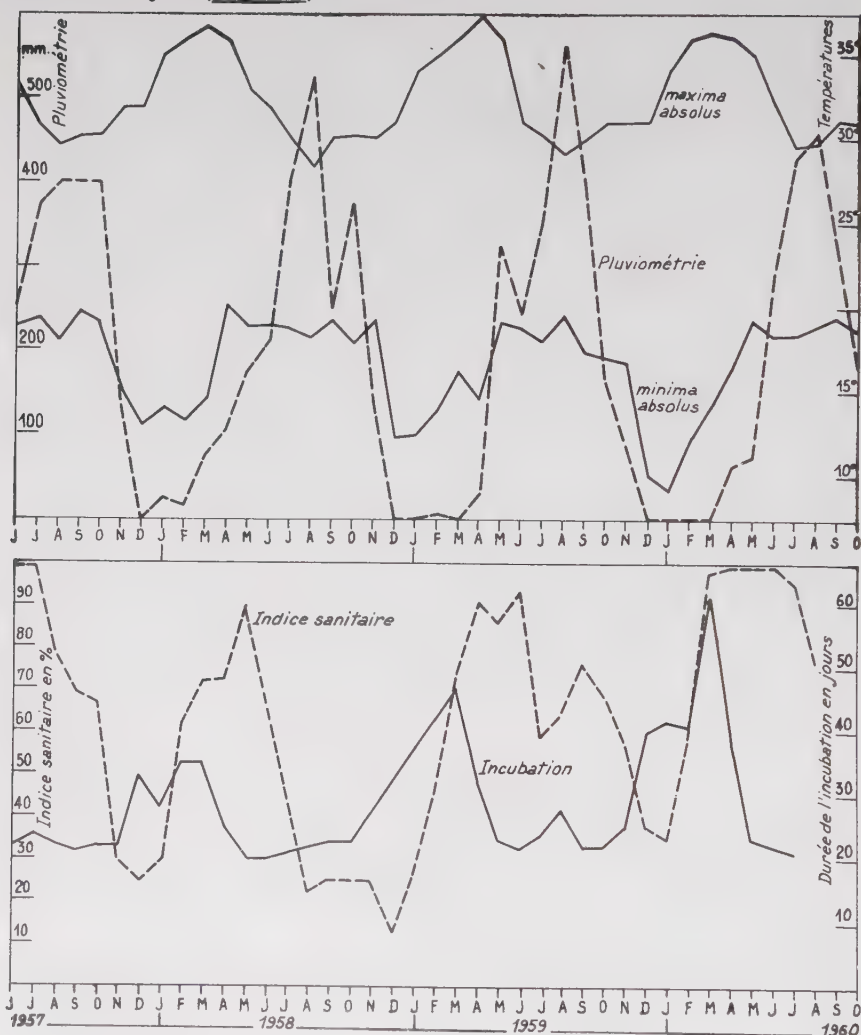


Fig. 66 - Comparaison de l'indice sanitaire moyen, et de la durée de l'incubation avec les relevés météorologiques.

Durée de l'incubation

La mesure de la durée de l'incubation, dont nous connaissons la relation avec la durée des phases ultérieures, est un bon témoin des effets des facteurs climatiques sur les phases de la maladie qui précèdent la manifestation finale des nécroses. La courbe obtenue présente les mêmes caractéristiques que celles obtenues à partir des indices sanitaires

(Fig. 67). Mais comme la période d'incubation débute dès la pénétration du parasite, le décalage signalé pour la représentation graphique de l'indice sanitaire est supprimé.

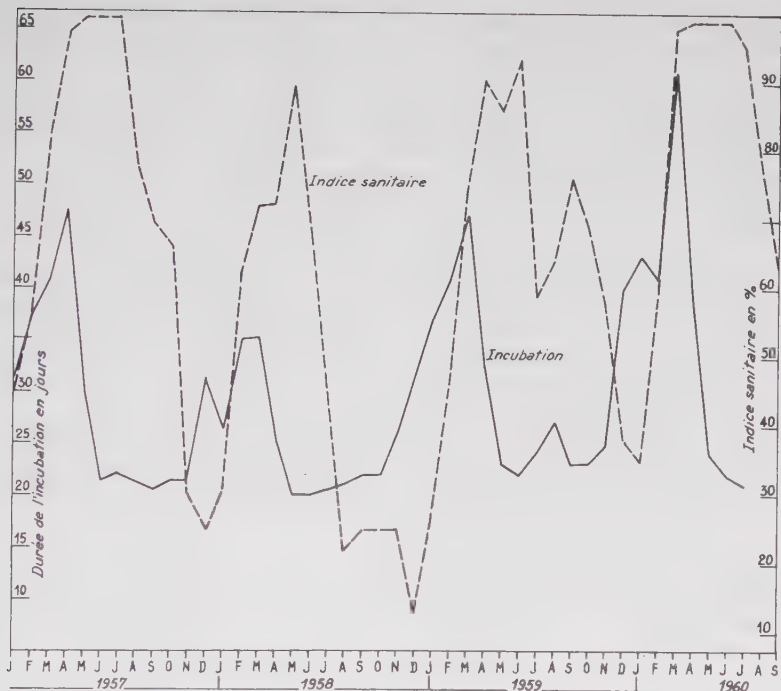


Fig.67 - Comparaison entre l'indice sanitaire moyen et la durée de l'incubation.

CONCLUSIONS

Ces deux courbes de l'indice sanitaire et de la durée d'incubation nous fournissent deux bons modes de représentation de l'évolution de la Cercosporiose au cours de l'année. Elles vont nous permettre de préciser quelle est la part de chacun des éléments du climat dans ce phénomène. La Fig. 66 met en évidence les effets respectifs des températures maximale et minimale absolues ainsi que ceux de la pluviosité mensuelle.

Par rapport aux facteurs climatiques que nous avons retenus, on peut schématiser de la façon suivante le climat guinéen (voir Tableau 33) :

- Période sèche (de la mi-décembre à la mi-avril) : pluies nulles ou faibles, températures maximales élevées, températures minimales faibles ;
- Période humide (de la mi-avril à la mi-décembre) : pluies abondantes, températures maximales faibles, températures minimales élevées.

Il existe des variations saisonnières importantes de la température, mais le facteur le plus variable est la pluviosité puisqu'on relève des mois sans pluies : novembre, décembre, janvier, et des mois où les précipitations atteignent 400 et 500 mm : juillet, août, septembre et même octobre.

Les courbes d'évolution de la maladie présentent le même aspect en "dent de scie" que la courbe des pluviosités, mais en alternance. Ceci nous montre le rôle primordial que joue la pluviosité et avec elle l'état hygrométrique, même si ce dernier n'est jamais totalement limitant puisqu'aussi bien en saison sèche, durant la nuit, l'humidité relative atteint 100 %.

Nous sommes maintenant en mesure de préciser le rôle de chacun des facteurs climatiques au cours des phases successives de la maladie.

Germination - Pénétration du parasite. - Le facteur dominant est l'hygrométrie : en dessous de 95 % tout développement mycélien cesse. Les températures n'arrêtent le développement qu'en dessous de 10° C et au-dessus de 38° C. La croissance mycélienne est toutefois fortement ralentie en dessous de 15° C et au-dessus de 35° C ; ces températures minimales sont atteintes en décembre, à un moment où l'hygrométrie est encore suffisante. En mars, où les maxima sont limitants, les conditions d'hygrométrie sont également défavorables, ce qui explique qu'en cette période de l'année la maladie soit peu importante.

Il faut souligner que les conditions de germination des ascospores sont moins étroites que celles des conidies, ce qui prolonge la durée du développement de la Cercosporiose aussi bien lors de l'établissement de la saison sèche que lors de la reprise des pluies, respectivement en décembre et avril.

Incubation. - Nous avons vu que la durée de l'incubation est sous la dépendance de deux facteurs :

- La température. - L'examen des graphiques montre la correspondance entre les périodes à températures extrêmes décembre-mars et les longues périodes d'incubation ;

- La quantité d'inoculum présente sur la feuille.- Cette quantité est sous la dépendance étroite des conditions climatiques qui sont particulièrement défavorables en saison sèche.

Manifestation de la maladie.- La vitesse d'évolution des symptômes dépend des mêmes facteurs que ceux qui déterminent la durée de l'incubation et évolue parallèlement à celle-ci.

Nous observons donc en Guinée une période climatique défavorable à la maladie, de janvier à fin avril. Mais dans ce pays la maladie présente une intensité très forte durant les autres mois de l'année. Ce phénomène ne peut s'expliquer que si les ascospores jouent le rôle principal.

A la fin de la saison sèche, en avril-mai, le feuillage est pratiquement sain (100 % en 1957, 100 % en 1960) ; sur les rares taches existantes on observe peu de conidies, la sporulation est très faible ou inexistante. La seule forme de propagation de la maladie qui persiste à cette période est constituée par les ascospores qui peuvent être libérées dès les premières tornades à partir des périthèces présents dans les rares nécroses existant sur les feuilles.

Dès la reprise des conditions climatiques favorables, on assiste à une aggravation brutale de la maladie. Elle persiste jusqu'en juillet, s'atténue durant les mois très pluvieux (août-septembre) et augmente à nouveau d'octobre jusqu'à décembre, moment où les conditions climatiques deviennent à nouveau défavorables.

Dans les conditions de Guinée, la phase ascosporée existe la plus grande partie de l'année et elle suffit à elle seule à assurer la continuité de la maladie. Elle ne doit donc pas être considérée comme jouant un rôle secondaire, mais au contraire comme la forme de propagation la plus efficace. Il est vraisemblable que cette conclusion peut être étendue à tous les pays présentant des climats de type tropical où les variations saisonnières sont importantes, la phase conidienne étant dominante dans les régions de type équatorial beaucoup plus régulier.

CHAPITRE V

LA LUTTE CONTRE LE PARASITE

L'obtention d'une plante résistante aux parasites et conservant toutes ses qualités représente une méthode idéale de lutte. Des travaux réalisés pour l'obtention de bananiers résistants à la Cercosporiose sont en cours depuis de nombreuses années. Des résultats encourageants ont été obtenus; toutefois nous ne pouvons envisager dans ce mémoire l'étude de ces travaux, puisque nous n'avons réalisé aucun essai concernant cet aspect génétique de la lutte.

Par contre, les connaissances acquises sur les relations entre le bananier et son parasite nous permettent de fonder sur des bases scientifiques les principes généraux de la lutte directe contre la Cercosporiose.

Nous nous bornerons dans ce chapitre à l'étude de deux points bien particuliers et d'importance inégale :

- ° Les conditions d'action des traitements huileux sur le développement du *M. musicola*,
- ° L'étude de la spécificité du *M. musicola* vis-à-vis du bananier.

A - ACTION DES TRAITEMENTS HUILEUX SUR LE DÉVELOPPEMENT DU *M. MUSICOLA*

1 - LES PROCÉDÉS HABITUELS DE LUTTE A L'AIDE DE FONGICIDES

Les traitements peuvent avoir pour but soit de préserver des végétaux sains d'une attaque éventuelle d'un parasite, soit de limiter au maximum les dégâts provoqués par une affection déclarée.

Jusqu'à une date récente, l'impossibilité pratique de faire pénétrer des produits antifongiques dans les tissus profonds et l'absence chez les végétaux d'un système circulatoire clos limitaient la lutte chimique à

la destruction des seuls organes des parasites qui se trouvaient placés hors de l'hôte. Dans le cas de la Cercosporiose, cette lutte ne pouvait être efficace qu'à deux stades du cycle du parasite : d'une part lors de la dispersion des conidies ou des ascospores et de leur germination sur les tissus de revêtement du bananier, d'autre part à la fin du cycle, quand les fructifications ont rompu ces mêmes tissus et se sont fait jour à l'extérieur.

Comme la production d'organes de dispersion par le *M. musicola* n'est notable que sur des feuilles relativement âgées et comme la pénétration du parasite, après leur germination, n'était réputée possible que sur de jeunes feuilles de bananier, deux méthodes de lutte avaient été proposées.

La première méthode consistait à empêcher la germination et la pénétration des conidies et des ascospores en protégeant les jeunes feuilles à l'aide d'un produit fongicide, généralement de la bouillie bordelaise. Lorsque l'agent de contamination arrive au contact de la feuille, il est tué par le fongicide. Ce système est théoriquement parfait à la condition que la totalité de la surface à protéger soit couverte par le produit, et que d'autre part celui-ci conserve suffisamment longtemps son efficacité pour que l'intervalle entre deux traitements ne soit pas trop court. Cette méthode est difficilement utilisable avec le bananier ; en effet, le développement des jeunes feuilles est un phénomène continu et chaque jour une nouvelle portion de limbe est susceptible d'être contaminée. Si l'on admet que le délai avant la pénétration du parasite varie entre 3 et 6 jours, il serait donc nécessaire de traiter tous les 3 jours pour obtenir un résultat valable, ce qui est absolument anti-économique.

La seconde méthode consistait à tuer l'agent de contamination lors de son transport et au moment où il parvenait au contact de la feuille de bananier. Cette méthode est celle qui avait été mise au point par l'United Fruit Company. Elle consistait à couvrir de fongicide (principalement bouillie bordelaise) les vieilles feuilles où se développent les conidies. La rosée ou l'eau de pluie dissolvait une quantité de cuivre suffisante pour que, durant leur transport et lors de leur dépôt sur les feuilles, les conidies se trouvent dans un milieu interdisant leur germination. Cette méthode, mise au point par DUNLAP (cité par LEACH, 1946), fut vulgarisée dans toutes les zones de culture du bananier ; elle a permis de lutter efficacement contre la Cercosporiose et de maintenir une production économiquement rentable dans les bananeraies. Cette technique a cependant un défaut majeur : elle est pratiquement sans efficacité dans le cas d'attaques dues à des ascospores. En effet, la présence de bouillie bordelaise sur les vieilles feuilles n'empêche pas la libération des ascospores et celles-ci ne sont pas en contact avec la rosée contenant du cuivre lorsqu'elles sont transportées par le vent. Nous retombons dans le premier cas : nécessité de protéger les jeunes feuilles susceptibles d'être contaminées ; or nous avons vu que cela était pratiquement impossible. Donc, en période de production d'ascospores, la lutte devenait très difficile. LEACH (1946) imagine un système indirect qui permettait de lutter contre les ascospores ; il consistait à traiter très énergiquement la bananeraie durant les périodes de faible production ascosporee, de

façon à maintenir un état sanitaire tel que le niveau de l'attaque soit faible et la production d'ascospores pratiquement inexistante durant la période critique. Cette méthode a donné de bons résultats, mais elle n'est utilisable que dans les régions où la production ascosporee est limitée à une période bien déterminée. D'autre part, elle reste aléatoire car la période critique peut varier dans le temps à la suite de perturbations météorologiques.

La première comme la seconde méthode envisagée sont pratiquement sans action sur les formes de reproduction qui demeurent protégées à l'intérieur des tissus (périthèces).

2 - LA LUTTE A L'AIDE DES TRAITEMENTS HUILEUX

Au cours des dernières années, une nouvelle méthode de lutte contre la Cercosporiose du Bananier a été mise au point (GUYOT et CUILLE, 1954, 1955, 1956). Elle est basée sur l'action de l'huile minérale qui exerce vis-à-vis du *Mycosphaerella musicola* un effet fongistatique et également télétoxique puisque l'huile se montre efficace à l'intérieur des tissus (BRUN, 1958, 1959). Nous allons étudier quelques aspects de cette action de l'huile sur le développement de la forme ascosporee de *M. musicola*.

Nous envisagerons dans nos essais l'utilisation de l'huile sans adjonction d'aucun fongicide. La technique de dispersion de cette huile sera celle que définit le terme d'atomisation, c'est-à-dire la réalisation d'un nuage de fines gouttelettes d'huile comprises entre 50 et 300 μ de diamètre.

a) Observations effectuées en bananeraie

Les Fig. 62 et 63 représentent l'évolution de l'indice sanitaire moyen en bananeraie non traitée, tandis que les Fig. 64 et 65 représentent cette même évolution en bananeraie traitée. La simple comparaison de ces graphiques montre que l'huile seule est parfaitement efficace.

TABLEAU 54

Comparaison en jours des durées d'incubation en bananeraie traitée et en bananeraie non traitée

	1958		1959		1960	
	Moyennes	extrêmes	Moyennes	Extrêmes	Moyennes	Extrêmes
Non traitée						
nain	24	19-34	25	23-43	22	21-24
poyo	23	20-33	25	23-40	22	21-24
traitée						
nain	37	29-51	40	31-65	42	39-46
poyo	34	28-59	38	30-49	33	31-37

L'examen du Tableau 54, où sont consignées les durées moyennes d'incubation maximale en bananeraie traitée et en bananeraie non traitée, permet de relever des différences importantes. Les chiffres indiquent les durées maximales extrêmes et moyennes observées durant les périodes de traitement (8 mois pour 1958-1959 et 3 mois pour 1960).

Nous savons que la durée de l'incubation présente une étroite corrélation avec la gravité de la maladie. L'allongement de la durée de l'incubation en bananeraie recevant des traitements huileux montre de façon très nette l'action de ceux-ci. L'action de ces traitements sur les différents stades de développement de la forme ascosporée va être envisagée.

b) Effets des traitements huileux sur la libération des ascospores

Nous avons cherché à établir si des atomisations huileuses effectuées sur de vieilles feuilles contenant des périthèces pouvaient empêcher la libération des ascospores. Nous prélevons cinq fragments de feuille contenant des périthèces, chaque fragment est partagé en deux, une moitié est soumise à des traitements huileux, l'autre sert de témoin. Les fragments traités et non traités sont exposés à une pluie artificielle mais seulement après 48 heures, de façon à permettre à l'huile d'exercer son action.

L'examen du nombre d'ascospores récoltées au cm^2 à partir de fragments témoins et traités ne montre aucune différence (Tableau 55).

TABLEAU 55
Ascospores récoltées à partir de feuilles
ayant ou non subi un traitement

Témoins		Traités	
A	136	A'	118
B	580	B'	319
C	408	C'	558
D	252	D'	220
E	312	E'	375

CALPOUZOS (1959) a obtenu des résultats analogues. Il est établi d'autre part que l'utilisation d'huile peut inhiber la formation de périthèces à l'intérieur des tissus, mais dans ce cas les doses d'emploi sont léthales pour le feuillage et cette technique ne peut être utilisée en bananeraie.

c) Effets des traitements huileux sur la germination des ascospores

Nous avons réalisé une série d'essais pour définir l'action des atomisations huileuses sur la germination des ascospores de *M. musicola*.

Les tests que nous avons utilisés sont ceux du pourcentage de germination et de la longueur du filament germinatif.

Essai I.— Cet essai est destiné à étudier l'action d'un traitement huileux effectué au moment du dépôt des ascospores sur la feuille. Il est réalisé au laboratoire sur des fragments de la première feuille déroulée d'un bananier Nain. L'atomisation est effectuée à l'aide d'un petit pulvérisateur à main. Les fragments de feuille, de 10 cm de côté environ, sont placés dans des boîtes de Pétri, sur du papier-filtre humide à la température du laboratoire ($25^{\circ} - 30^{\circ} \text{C}$). Chaque fragment est traité sur la moitié de sa surface, l'autre moitié servant de témoin. Les ascospores sont déposées par la technique habituelle sur la totalité de chaque fragment de feuille immédiatement après le traitement. Les observations sont effectuées après 12, 24, 48 et 72 heures.

Lorsque les observations sont effectuées 12 heures après le traitement (Tableau 56), on note que la croissance des filaments germinatifs est plus faible sur feuille traitée : 39μ contre 60μ sur feuille non traitée. Le pourcentage d'ascospores germées est également plus faible sur feuille traitée (2 % contre 8 %).

TABLEAU 56

Effets des traitements huileux sur la germination
des ascospores

Dépôt des ascospores et traitement simultanés

- Observations 12 heures après le traitement

	Ascospores germées	Longueur des filaments germinatifs (en microns)		
		1 germination	2 germinations	Moyenne
	p. cent			
REPETITION N° 1				
Feuilles non traitées	96	56	71	59
Feuilles traitées	89	40	52	43
REPETITION N° 2				
Feuilles non traitées	100	54	76	61
Feuilles traitées	95	40	47	34
Nombre d'ascospores observées : 400				

Lorsque les observations sont effectuées 24 heures après le traitement (Tableau 57), on note un maintien de la différence de longueur des filaments germinatifs selon qu'ils se sont développés sur feuilles traitées (53μ) ou non traitées (73μ). La différence est très faible en ce qui concerne le pourcentage de non-germination (3 % et 1,25 %).

TABEAU 57
Effets des traitements huileux sur la germination
des ascospores

Dépôt des ascospores et traitements simultanés

- Observations 24 heures après le traitement

	Ascospores germées p.cent	Longueur des filaments germinatifs (en microns)		
		1 germination	2 germinations	Moyenne
REPETITION N° 1				
Feuilles non traitées	96	63	83	73
Feuilles traitées	93	41	48	46
REPETITION N° 2				
Feuilles non traitées	100	57	83	70
Feuilles traitées	98	38	51	45
REPETITION N° 3				
Feuilles non traitées	99	58	85	68
Feuilles traitées	97	46	64	61
REPETITION N° 4				
Feuilles non traitées	100	58	89	73
Feuilles traitées	100	48	64	57

Nombre d'ascospores observées : 750 environ.

TABEAU 58
Effets des traitements huileux sur la germination des ascospores

DEPOT DES ASCOSPORES et TRAITEMENT SIMULTANES

- Observations 48 heures après le traitement

	Ascospores germées p. cent	Longueur des filaments germinatifs (en microns)		
		1 germination	2 germinations	Moyenne
REPFTITION N° 1				
Feuilles non traitées	100	107	127	121
Feuilles traitées	100	45	66	61
REPFTITION N° 2				
Feuilles non traitées	100	101	127	116
Feuilles traitées	100	60	84	65
REPETITION N° 3				
Feuilles non traitées	100	107	135	125
Feuilles traitées	98	80	115	99
Nombre d'ascospores observées : 600				

Nombre d'ascospores observées : 600

TABLEAU 59

Effets des traitements huileux sur la germination des ascospores

DEPOT DES ASCOSPORES ET TRAITEMENT SIMULTANES

- Observations 72 heures après le traitement

	Ascospores germées p. cent	Longueur des filaments germinatifs (en microns)		
		1 germination	2 germinations	Moyenne
REPETITION N° 1				
Feuilles non traitées	100	99	116	109
Feuilles traitées	100	67	99	93
REPETITION N° 2				
Feuilles non traitées	100	99	118	109
Feuilles traitées	100	59	103	94
REPETITION N° 3				
Feuilles non traitées	100	85	117	113
Feuilles traitées	100	73	91	83
REPETITION N° 4				
Feuilles non traitées	100	83	113	99
Feuilles traitées	100	92	99	95
REPETITION N° 5				
Feuilles non traitées	100	87	123	117
Feuilles traitées	100	92	113	106
Nombre d'ascospores observées : 1000				

Si nous effectuons les observations 48 heures après le traitement (Tableau 58), les différences s'atténuent pour le pourcentage de spores non germées (0 % à 0,6 %), mais la différence de vitesse de croissance du filament germinatif persiste (traitées, 75 μ ; non traitées, 121 μ).

Après 72 heures (Tableau 59) la totalité des spores a germé, mais il existe toujours une différence dans la longueur des filaments germinatifs (traitées, 94 μ ; non traitées, 110 μ). On peut noter que les chiffres relevés après 72 heures sont plus faibles que ceux de l'essai de 48 heures. Il s'agit de deux essais séparés et les variations de température du laboratoire, 25° à 30° C, permettent d'expliquer ces différences.

Dans cet essai, on observe non seulement un ralentissement de la croissance linéaire des filaments germinatifs dans le cas de feuilles

traitées, mais également des anomalies dans la germination qui se traduisent morphologiquement par des déformations des filaments germinatifs, un cloisonnement moins fréquent, des épaississements ; le diamètre de l'hyphe est souvent plus élevé que lors de germinations normales (voir Fig. 68).

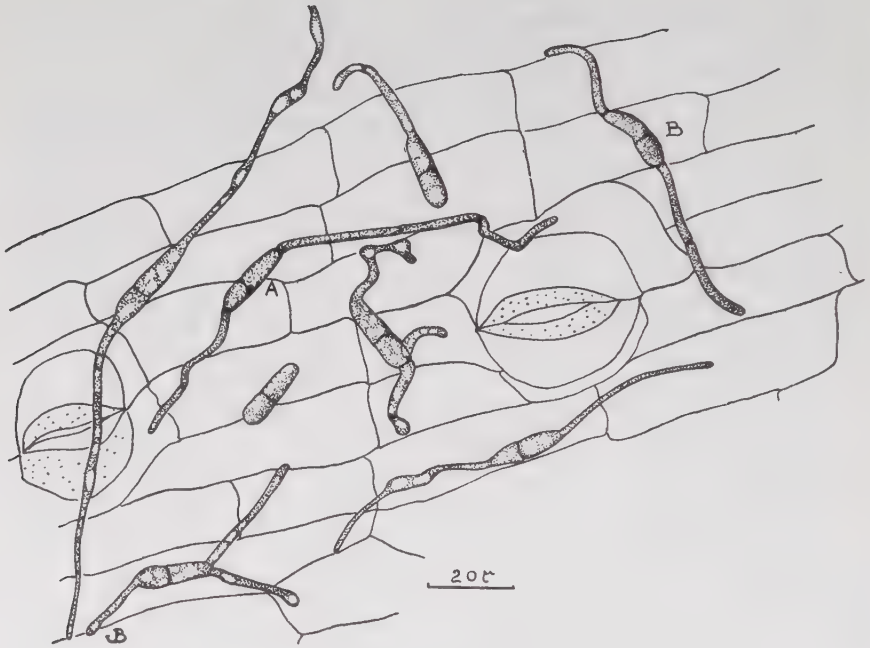


Fig.68 - Germinations anormales d'**ascospores** traitées à l'huile après 24 heures. Seules A et B ont un faciès normal.

Essai II.— Ce second essai est destiné à étudier l'action des traitements huileux effectués avant le dépôt des ascospores, la germination de celles-ci étant étudiée dans les conditions du laboratoire.

Protocole.— Le protocole est identique à celui de l'Essai I, mais les traitements sont réalisés sur les bananiers soit 80 heures, soit une semaine avant le prélèvement des fragments de limbe. Celui-ci précède immédiatement le dépôt des ascospores (Tableaux 60 et 61).

Cet essai montre que même si le traitement est effectué avant le dépôt des ascospores, l'action sur le développement des filaments germinatifs est bien marquée et que les traitements sont efficaces durant au moins une semaine.

TABLEAU 60

Effets des traitements huileux sur la germination
des ascospores

DEPOT 80 HEURES APRES LE TRAITEMENT

Observations 24 heures après le dépôt	Ascospores germées p. cent	Longueur des filaments germinatifs (en microns)		
		1 germination	2 germinations	Moyenne
Feuilles non traitées	99,5	61	77	69
Feuilles traitées	97,5	36	53	43
Nombre d'ascospores observées : 200				

TABLEAU 61

Effets des traitements huileux sur la germination
des ascospores

DEPOT UNE SEMAINE APRES LE TRAITEMENT

Observations 24 heures après le dépôt	Ascospores germées p. cent	Longueur des filaments germinatifs (en microns)		
		1 germination	2 germinations	Moyenne
Feuilles non traitées	97	51	55	52
Feuilles traitées	94,7	31	42	32
Nombre d'ascospores observées : 200				

Essai III.— Dans cet essai, identique au précédent quant aux phénomènes étudiés, nous avons effectué des inoculations et les traitements sur des feuilles en place sur les bananiers dans la plantation.

Une série d'inoculations décalées dans le temps a été réalisée immédiatement après le traitement, 24 heures, 48 heures et une semaine après. Le résultat de chaque inoculation a été observé après 40 heures. (Moyenne sur 100 ascospores).

Lorsque les ascospores sont déposées immédiatement après le traitement, on constate un retard dans la croissance du filament germinatif, mais surtout une différence très nette dans le pourcentage de spores germées sur les feuilles traitées. (Résultats exposés dans le Tableau 62).

TABLEAU 62
Effets des traitements huileux sur la germination
des ascospores

DEPOT DES ASCOSPORES IMMEDIATEMENT APRES LE TRAITEMENT

Observations après 40 heures	Ascospores germées p.cent	Longueur des filaments germinatifs (en microns)		
		1 germination	2 germinations	Moyenne
Feuilles non traitées	94	33	42	35
Feuilles traitées	55	15	25	18

Lorsque les ascospores sont déposées 24 heures après le traitement, on observe un retard dans la croissance des filaments germinatifs, mais le pourcentage des spores non germées augmente de façon très importante (résultats exprimés dans le Tableau 63).

TABLEAU 63
Effets des traitements huileux sur la germination
des ascospores

DEPOT DES ASCOSPORES 24 HEURES APRES LE TRAITEMENT

Observations après 40 heures	Ascospores germées p.cent	Longueur des filaments germinatifs (en microns)		
		1 germination	2 germinations	Moyenne
Feuilles non traitées	100	41	58	40
Feuilles traitées	35	17	39	25

Lorsque les ascospores sont déposées 48 heures après un traitement huileux le pourcentage de spores germant est très faible : 1 % (voir Tableau 64).

TABLEAU 64
Effets des traitements huileux sur la germination
des ascospores

DEPOT DES ASCOSPORES 48 HEURES APRES LE TRAITEMENT

Observations après 40 heures	Ascospores germées p.cent	Longueur des filaments germinatifs (en microns)		
		1 germination	2 germinations	Moyenne
Feuilles non traitées	99	40	51	43
Feuilles traitées	3,5	22	pas d'obs.	22

Une semaine après le traitement, l'action des traitements huileux reste très marquée et le pourcentage de spores germant est très faible : 1 %. Ce chiffre montre, beaucoup plus que la diminution de longueur du filament germinatif, 26 μ contre 42 μ , l'action très nette des traitements huileux sur la germination dans les conditions naturelles (résultats exposés dans le Tableau 65).

TABLEAU 65

Effets des traitements huileux sur la germination
des ascospores

DEPOT DES ASCOSPORES: UNE SEMAINE APRES LE TRAITEMENT

Observations après 40 heures	Ascospores germées p.ccent	Longueur des filaments germinatifs (en microns)		
		1 germination	2 germinations	Moyenne
Feuilles non traitées	100	37	54	42
Feuilles traitées	1	16	39	22

L'Essai III permet d'effectuer deux observations très importantes :

- Lorsque les traitements huileux sont effectués en bananeraie le taux de germination des ascospores tombe aux environs de zéro ;
- Cette suppression quasi totale de la germination n'est obtenue que si l'inoculation a lieu une quarantaine d'heures au moins après le traitement.

Cette augmentation de l'efficacité des traitements huileux sur la germination lorsqu'ils sont effectués dans les conditions de la bananeraie, a été vérifiée par de nombreux autres essais. Le "blocage" de la germination est un point bien acquis, mais nous n'avons pas pu l'expliquer de façon rationnelle.

Le fait que dans les Essais I et II nous ayons opéré sur des fragments de feuille placés dans des conditions plus favorables à la germination en ce qui concerne la température et l'hygrométrie ne permet pas d'expliquer les différences constatées, puisque dans l'Essai III la germination s'effectue parfaitement sur les feuilles non traitées. Il faut donc admettre que l'huile a une action fongistatique beaucoup plus marquée dans les conditions de la bananeraie. Nous savons que l'insolation et notamment les ultra-violets peuvent jouer un rôle (CUILLE, 1952). On pourrait envisager d'étudier l'action de l'insolation sur l'efficacité des huiles ; de tels essais n'ont pu être réalisés. Mais il existe probablement d'autres raisons qui nous échappent.

De toute façon, l'Essai III montre que, pour être valables, les essais

sur l'efficacité des huiles doivent être effectués dans la bananeraie et non dans les conditions du laboratoire.

Le deuxième point, qui concerne le laps de temps nécessaire avant que les traitements n'acquiescent leur plus grande efficacité, s'explique aisément. Aussi bien effectué que soit un traitement, il existe toujours sur la feuille des zones non traitées ; le pouvoir d'étalement très élevé des huiles pallie cette imperfection des traitements, mais un laps de temps est nécessaire avant que la feuille soit entièrement couverte.

d) Action des traitements huileux sur la pénétration des filaments germinatifs issus d'ascospores

L'étude de l'action des traitements huileux sur la germination nous a montré que lorsque les ascospores sont déposées sur les feuilles peu de temps après les traitements, le pourcentage de spores qui germent est relativement important. Nous avons voulu savoir si les filaments germinatifs de ces spores pénétraient dans les tissus de la feuille.

Tous les essais relatifs à la pénétration ont été réalisés sur des feuilles laissées en place sur les bananiers.

Le protocole est le suivant : à l'aide d'un atomiseur à main on traite la moitié d'une première feuille déroulée, qui est ensuite inoculée une heure après le traitement. Le dépôt des ascospores a lieu en fin d'après-midi afin qu'elles bénéficient de l'hygrométrie nocturne favorable à leur germination. Les résultats sont exprimés en pourcentage de spores germées et de spores dont le filament germinatif a pénétré ou non dans un stomate.

Les résultats indiqués dans le Tableau 66 ont été obtenus à partir de trois essais effectués à des périodes différentes de l'année, ce qui explique les variations observées d'un essai à l'autre, notamment dans les pourcentages de germination.

Après 72 heures aucune germination, donc a fortiori aucune pénétration n'est observée. La série 88 heures est particulièrement intéressante puisque nous observons 100 % de germination, mais aucune pénétration. Après 96 heures, 14 % de germination et également pas de pénétration. La première série de 120 heures ne présente pratiquement pas de germination, la seconde présente 60 % de germination et 0 % de pénétration.

Dans les observations effectuées 138 heures après le dépôt des ascospores on constate une pénétration de 10 % ; ce chiffre élevé ne se retrouve dans aucun des autres essais et peut difficilement s'expliquer ; l'hypothèse la plus plausible est celle d'un traitement défectueux. Dans les observations effectuées 184 heures après le dépôt des ascospores le pourcentage des filaments germinatifs ayant pénétré est de 1,9.

TABLEAU 66

Effets des traitements huileux sur la pénétration de
filaments germinatifs issus d'ascospores

Pénétration après 72 heures	Ascospores germées		Non germées p. cent
	Pénétrées p. cent	Non pénétrées p. cent	
REPETITION N° 1			
Feuilles non traitées	50	50	0
Feuilles traitées	0	0	100
REPETITION N° 2			
Feuilles non traitées	61	39	0
Feuilles traitées	0	0	100
après 88 heures			
Feuilles non traitées	78	22	0
Feuilles traitées	0	100	0
après 96 heures			
Feuilles non traitées	40	60	0
Feuilles traitées	0	14	86
après 120 heures			
REPETITION N° 1			
Feuilles non traitées	pas d'ascospores observées		
Feuilles traitées			99
REPETITION N° 2			
Feuilles non traitées	72	28	0
Feuilles traitées	0	60	40
après 138 heures			
Feuilles non traitées	pas d'ascospores observées		
Feuilles traitées			20
après 184 heures			
Feuilles non traitées	87,3	12,7	0
Feuilles traitées	1,9	68,7	29,4
Nombre d'ascospores observées : 1600			

Conclusions

Les effets des atomisations huileuses sur la pénétration du parasite sont hautement significatifs. Le nombre de tubes germinatifs dont la pénétration est réalisée est inférieur à 0,5 pour mille pour l'ensemble

des séries. Dans cet essai, le nombre des germinations a été assez élevé parce que les inoculations ont eu lieu immédiatement après le traitement. Si l'on fait jouer à la fois l'effet sur la germination et sur la pénétration, le nombre d'ascospores susceptibles de germer convenablement est excessivement faible.

e) Action des traitements huileux sur le développement du parasite durant l'incubation

Nous savons que la protection du feuillage est impossible à réaliser de façon absolue à cause du déroulement continu des jeunes feuilles; cependant les résultats pratiques obtenus par les atomisations huileuses en bananeraie sont excellents, et cela avec une périodicité de traitement qui ne peut permettre une protection intégrale de la feuille en voie de déroulement. Nous avons donc été amené à envisager que cette efficacité de l'huile s'exerçait à un autre moment du cycle évolutif du parasite.

Trois hypothèses sont plausibles : ou les traitements huileux ont une action au cours de l'incubation, ou cette action a lieu durant l'évolution de la lésion, ou bien enfin cette action des traitements huileux se manifeste durant ces deux périodes.

L'action des traitements huileux peut être caractérisée durant la phase d'incubation par l'apparition d'un nombre plus ou moins élevé de taches sur des secteurs-témoins ou traités. Ceci sous réserve de n'effectuer les traitements qu'après la pénétration et sur des limbes ou des portions de limbe où les infections présentent la même gravité.

Protocole.—Deux séries de 10 carrés (de 5 cm de côté) sont délimités à des emplacements identiques sur des feuilles, une dizaine de jours

TABLEAU 67
Effets des traitements huileux durant l'incubation

NOMBRE DE TACHES OBSERVEES PAR PARCELLE			
Traitées		Non traitées	
1	17	1'	42
2	24	2'	39
3	12	3'	17
4	39	4'	54
5	24	5'	63
6	9	6'	22
7	19	7'	34
8	11	8'	22
9	32	9'	78
10	27	10'	44
Moyenne générale		21,4	41,5

après la fin du déroulement. Les uns sont traités (à cette période du développement de la feuille des infections se sont déjà produites), tandis que les autres ne sont pas traités, mais protégés afin de ne pas subir de contaminations secondaires. Sur chacune des séries on compte les lésions qui se déclarent durant une période d'un mois après l'apparition de la première lésion.

Cet essai a lieu en bananeraie très contaminée et l'on peut admettre que l'infection ascosporee est homogène pour l'ensemble des secteurs.

La lecture des chiffres (Tableau 67) permet de conclure que les atomisations huileuses ont une action sur le parasite durant la période d'incubation.

f) Action des traitements huileux sur l'évolution des lésions

L'action des atomisations huileuses sur l'évolution des lésions est un fait d'observation courante. On désigne souvent cette action sous le vocable "d'action curative". Le premier auteur qui à notre connaissance relate ce phénomène est MERNY (1955) qui observait une double action de l'huile. Selon lui, elle empêche l'infection de se produire (ce que nous avons démontré en précisant le rôle de l'huile sur la germination et la pénétration) et elle retarde la formation des taches.

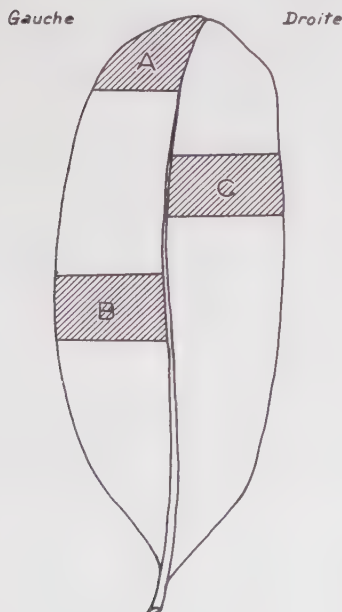


Fig.69 - Position des secteurs observés, lors des essais traitements huileux sur l'évolution des lésions.

TABLEAU 68

Durée moyenne en jours de l'évolution d'une tache
en bananeraie recevant ou non des traitements

(Entre le stade I fin de l'incubation et le stade V
fin d'évolution de la tache)

Kottakouré (non traitée)				Ouatamba (traitée)	
		Nains	Poyos	Nains	Poyos
1958	Janv.	26	22,2	23,3	34,9
	Fév.	28,8	37,1	41,8	44,7
	Mars	22,1	16,1	38,1	35,1
	Avri.	23,2	22,7	67,9	47,3
	Mai	20,2	16,4	68,1	37,6
	Juin	17,4	15,7	86,5	18,2
	Juil.	21,3	15,2	129	44,6
	Août	18	17,4	104,4	37,4
	Sept.	21,9	14	72,2	56
	Oct.	17	19,6	109,9	57,2
	Nov.	46,2	35,3	84,8	61,8
	Déc.	54	40,9	64,1	33,5
1959	Janv.	46	42,8	70,1	-
	Fév.	30,9	42	75,3	-
	Mars	44	39,3	51,3	-
	Avril	24,9	24,1	17,4	34,5
	Mai	18,2	19,2	52,1	22
	Juin	20,9	14,8	52,6	58
	Juil.	15,7	14,2	48,7	50,1
	Août	13,4	14	59,4	49
	Sept.	18,3	16,4	79	42,6
	Oct.	19,1	17,8	50,4	41,1
	Nov.	23,6	31,5	57,2	67,1
	Déc.	33,2	28,1	40,8	56
1960	Janv.	41,5	36,6	59,3	28,2
	Fév.	45,1	38,3	51,3	34,1
	Mars	37,4	24,4	85,8	38,2
	Avril	36	29,2	73,9	31,1
	Mai	31,5	20,2	43	46
	Juin	23	17,8	31,2	47
	Juil.	16	14,1		

Nous avons cherché à préciser l'effet de l'huile sur l'évolution des lésions de Cercosporiose. L'examen du Tableau 68 permet de constater qu'en période où les bananiers sont soumis à des atomisations d'huile il existe des différences notables dans la durée moyenne de l'évolution des taches en bananeraies traitées et non traitées. L'action des traitements retarde de façon considérable la durée de ce phénomène entre le Stade I et le Stade V. Cependant, dans le cas des observations qui ont permis d'établir ce tableau, on peut admettre que les traitements huileux ont agi sur la germination et la pénétration et que le ralentissement dans l'évolution

est dû à une quantité plus faible d'inoculum. Aussi avons-nous mis en place d'autres essais.

Protocole.— On choisit des feuilles d'âge identique dans une parcelle non traitée où l'infection est très importante et homogène. Les feuilles retenues sont traitées sur les deux faces. Quatre traitements sont effectués en septembre, à une semaine d'intervalle. En raison de l'impossibilité d'opérer un comptage précis des taches se formant sur l'ensemble du feuillage, nous avons délimité trois secteurs A, B, C situés aux mêmes emplacements sur toutes les feuilles observées (Fig. 69).

Les traitements portent sur des feuilles présentant des lésions à trois stades différents d'évolution : I, II et III. Le devenir des lésions à été examiné selon le stade auquel les traitements sont effectués.

Stade I

L'examen du Tableau 69 permet de constater qu'au début des traitements, le 4/9, le nombre des lésions sur l'ensemble des feuilles traitées est de 143 et de 204 pour les témoins ; à la fin des traitements, le 25/9, les lésions sont respectivement au nombre de 835 et de 1.672. Le rapport Traité/Témoin passe de 1,4 au début à 2 à la fin des traitements. Le 9/10, avant l'apparition des premières nécroses, le relevé des taches est le suivant : traité = 1.006, témoin = 2.382, soit un rapport de 2,36. On constate donc un ralentissement très net dans l'apparition des taches dans les zones traitées. Cette action des traitements huileux est identique à celle que nous avons constatée au paragraphe précédent ; il s'agit bien d'une limitation dans l'apparition des lésions : il est apparu entre le 4/9 et le 9/10 2.178 lésions sur les zones-témoins et 863 sur les zones traitées.

Un second phénomène est très intéressant à suivre, c'est le ralentissement dans l'évolution des lésions ; en effet, au 9/10 on relève 128 lésions aux Stades IV et V dans les secteurs-témoins contre 2 dans les secteurs traités. Au 16/10 ces chiffres sont de 325 pour 2, et déjà à cette date une partie du feuillage-témoin est nécrosée. Or dans les zones nécrosées le comptage des lésions est impossible à réaliser avec précision. A la fin des observations, le 9/11, 70 % des secteurs non traités sont totalement desséchés alors que ce pourcentage est de 0 pour les secteurs traités.

Stade II

Nous avons cherché à préciser si cette double action se retrouvait dans le cas des traitements à un stade plus avancé des lésions, au Stade II.

Les résultats sont exprimés dans le Tableau 70. Si nous effectuons pour ce tableau les mêmes observations que pour l'essai précédent, nous constatons qu'au départ, le 4/9, le nombre des taches est de 667 pour les secteurs-témoins et 616 pour les secteurs traités. Le 21/9 nous comptons

Dates	Stades de l'évolution	T ₁			T ₂			T ₃			H ₁			H ₂			H ₃		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
9/10	III	28	42	251	189	201	296	81	111	137	187	215	120	256	88	83	206	96	58
	IV	66	69	37	15			30	21		4						4		
	V	99	70	2	78			72	6										
	N	25	20		15			35											
16/10	III	8	8	102	112	225	346	48	111	135	190	217	124	264	90	91	199	101	61
	IV	15	21	101	57		6	45	9	12	4			2			9		
	V	159	160	49	113		2	88	18	1							1		
	N	25	30	5	25			50											
31/10	III	Nécrose 100 p. cent			77	243	71	10	23	88	189	224	129	272	93	95	201	103	61
	IV				8	4	138	13	3	20	3	-	-	2	-	-	7	-	-
	V				196		145	168	122	42	2	-	-	-	-	-	3		
	N				75		30	85	50	10	-	-	-	-	-	-	-		
9/11	III	Nécrose 100 p. cent			135					66	173	220	120	270	93	95	186	103	61
	IV				9	63				17	13	3	8	-	-	-	8		
	V				92	288				66	8	1	-	4			17	-	-
	N				-	90				25	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Stade III

TABLEAU 71

Effets des traitements huileux sur l'évolution des lésions
(Traitements effectués au stade III)

T = bananier témoin, H = bananier traité par atomisations huileuses
N = surface nécrosée en p. cent

Dates	Stades de l'évolution	T ₁			T ₂			H ₁			H ₂		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
4/9	III	102	100	68	78	22	34	105	103	76	122	70	62
11/9	I II III	101	121	93	93	25	49	86	28	83	116	81	73
	IV	37	-	-	-	-	-	21			9		

Dates	Stades de l'évolution	T ₁			T ₂			H ₁			H ₂		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
18/9	III	97	87	216	117	48	67	81	144	100	133	90	85
	IV	56	43					26			11		
25/9	III	83	121	388	132	51	77	108	166	115	130	108	103
	IV	40	25		24			14			12		
	V	50	19		1			11			5		
	N	15	15					5					
2/10	III	75	108	463	83	50	90	108	190	128	132	112	106
	IV	54	22		53	4		16			14		
	V	51	34		30			20			10		
	N	25	25		25			5					
9/10	III	60	120	453	20	52	62	106	207	120	131	118	121
	IV	54	34	5	54	4	37	19	-	2	20	1	4
	V	68	39	17	120	-	-	2	-	-	-	1	-
	N	50	25	5	85	-	-	5	-	-	-	-	-
16/10	III	0	59	307	Nécrose 100 p. cent	55	63	87	211	127	127	120	113
	IV	65	84	92		4	39	22	-	1	16	1	6
	V	130	82	76				24	-	1	8	2	6
	N	80	50	15		-	-	5	-	-	-	-	-
31/10	III	Nécrose 100 p. cent	Nécrose 100 p. cent	Nécrose 100 p. cent	Nécrose 100 p. cent	Nécrose 100 p. cent	59	78	213	123	120	118	106
	IV						27	26	6	4	20	1	9
	V						16	29	-	4	10	3	10
	N						-	10	-	-	-	-	-
9/11	III	Nécrose 100 p. cent	Nécrose 100 p. cent	Nécrose 100 p. cent	Nécrose 100 p. cent	Nécrose 100 p. cent	20	65	212	110	120	117	106
	IV						35	29	1	10	39	6	8
	V						46	39	6	8	14	5	18
	N						-	-	-	-	-	-	-

Le même essai a été effectué sur des lésions au Stade III (Tableau 71) ; nous reprenons ici les mêmes observations que celles réalisées dans les deux essais précédents. Au 4/9 on observe 404 lésions sur les secteurs-témoins et 534 sur les traités. Au 25/9, 1.011 et 772 et le 9/10, 1.232 et 872. Soit des rapports de 0,75, 1,30 et 1,41. Le nombre de lésions atteignant les Stades IV et V est de 435 au 9/10 pour les secteurs-témoins et de 48 pour les secteurs traités. Le pourcentage est plus important que dans les deux autres essais, mais cependant des traitements effectués au Stade III présentent encore une efficacité appréciable.

Si nous résumons ces trois essais sur l'action des traitements huileux dans le Tableau 72, nous constatons que l'évolution des lésions est très faible lorsque les traitements sont effectués aux Stades I et II, et plus importante au Stade III. Mais un pourcentage de 20 % et de 13 % d'évolution des taches par rapport au témoin, lorsque l'intervention a lieu tardivement, représente un résultat non négligeable qui justifie un traitement.

TABLEAU 72

Pourcentage d'évolution des lésions soumises ou non
aux traitements huileux du stade I au stade V

	Témoin		Traité	
STADE INITIAL I	I	100	I	0,4
	2	60	2	3,33
	3	78	3	1,2
STADE INITIAL II	1	100	1	5,8
	2	80,6	2	0,4
	3	85	3	1,4
STADE INITIAL III	1	100	1	20,1
	2	93	2	12,7

L'examen des Tableaux 69, 70 et 71 permet de constater un autre phénomène : un nombre important de stries évoluent du stade initial jusqu'au Stade III et c'est principalement à partir de ce stade que l'évolution s'arrête. Ce processus est chiffré dans le Tableau 73.

Dans la colonne 1 sont portés les nombres de lésions présentes dans le secteur observé au moment du premier traitement. Dans la colonne 2 sont portés les nombres de lésions qui se sont développées jusqu'au Stade III. Dans la colonne 3 on a calculé le rapport existant entre le nombre de lésions ayant évolué du stade initial au Stade III dans le secteur-témoin et le secteur traité, ce qui revient à chiffrer l'action des traitements sur l'incubation. Dans la colonne 4 on relève le nombre et les pourcentages de nécroses se développant jusqu'aux Stades IV et V par rapport aux lésions ayant atteint le Stade III.

TABLEAU 73

Evolution des stries des stades I et II au stade III
et du stade III aux stades suivants

STADE INITIAL	1 Nombre initial de lésions	2 Nbre maximum de lésions Stade III	3 Rapport témoin (2-1) traité (2-1)	4 Lésions atteignant les stades 4 et 5	
				Nombre	p. cent
STADE I					
Témoin	204	2.879	2,8	2.534	88
Traité	143	1.085		23	2,1
STADE II					
Témoin	667	1.989	1,98	1.790	90
Traité	616	1.282		59	4,7
STADE III					
Témoin	404	1.253	2,54	1.215	98
Traité	538	872		139	16,3

Ce tableau met en relief la double action des traitements huileux :

- Le nombre de lésions continuant à apparaître après le traitement est plus faible dans le cas des feuilles traitées ;
- Le nombre de lésions parvenues aux Stades I, II ou même III lors du traitement et atteignant le Stade V est très faible dans le cas des feuilles traitées ; il est d'autant plus faible que le traitement a lieu sur des lésions plus récentes.

CONCLUSIONS SUR L'ACTION DES TRAITEMENTS HUILEUX

L'ensemble de ces essais permet de conclure à une très grande efficacité des traitements huileux vis-à-vis des ascospores du *M. musicola*, non seulement à titre préventif, mais aussi après l'apparition des lésions.

On peut schématiser l'action des atomisations huileuses de la façon suivante :

- La libération des ascospores n'est pas empêchée par les traitements ;
- La germination et la pénétration du filament germinatif des ascospores sont très fortement diminuées dans les conditions de la bananeraie ;
- Des taches aux premiers Stades I et II, et même III, peuvent facilement être "stoppées" dans leur évolution.

Ces trois points permettent de préciser les règles à suivre pour les traitements huileux.

- Le traitement des feuilles âgées n'est pas impératif car la libération des ascospores à partir des périthèces ne pourra pas être totalement arrêtée.
- Le traitement du "cigare" et des plus jeunes feuilles déroulées est efficace ; toutefois cette efficacité est limitée d'une part à la rémanence des traitements et, d'autre part, au fait que de nouvelles surfaces foliaires apparaissent journellement et sont exposées, sans protection, à la contamination.
- Les traitements huileux permettent de stopper une attaque en cours de développement ; cet arrêt est d'autant plus efficace que le traitement intervient plus tôt au cours de l'évolution des dommages.
- En pratique, la lutte doit se limiter aux deux derniers points.

B . ETUDE DE LA GERMINATION ET DE LA PENETRATION DU M. MUSICOLA SUR DES GENRES AUTRES QUE LES MUSA ET PARMIS LES CLONES DU GENRE MUSA

L'étude de la spécificité des *Cercospora* donne lieu à deux opinions diamétralement opposées. WELLES (1924, 1925) démontre l'extrême variabilité des conidiospores de différents *Cercospora* étudiés aux Philippines et montre qu'une même espèce, notamment *Cercospora lussoniensis* Sacc., peut infecter des hôtes différents. JOHNSON et WALLEAU (1953) démontrent également la possibilité d'infections expérimentales de plusieurs hôtes à partir d'un même *Cercospora*. Selon ces auteurs, lorsqu'on trouve un *Cercospora* sur un nouvel hôte, il ne faut pas croire cela suffisant pour créer une nouvelle espèce ; si un *Cercospora* a déjà été décrit sur cet hôte, mais que ses caractères morphologiques ne correspondent pas, ceci ne justifie pas la description d'une espèce nouvelle, car il y a des espèces différentes dont la morphologie est semblable sur beaucoup de plantes appartenant à la même famille ou à des familles différentes. CHUPP (1953), au contraire, pense que les *Cercospora* sont remarquablement limités à leur plante-hôte : quelques uns, tels ceux décrits sur *Solanum* existent sur une espèce d'hôte seulement. S'il était nécessaire de réaliser des inoculations croisées, CHUPP (loc. cit.) estime qu'elles ne devraient pas être effectuées dans des conditions d'atmosphère saturée qui, d'après lui, ne peuvent être acceptées : les pénétrations s'effectuent alors dans les conditions d'un demi-saprophytisme.

1 - SUR DES PLANTES N'APPARTENANT PAS AU GENRE MUSA

A la suite des opinions contradictoires émises par les auteurs que nous venons de citer, nous avons cherché à préciser si des inoculations expérimentales effectuées sur des plantes autres que les *Musa* avec des ascospores du *M. musicola* permettraient d'obtenir sur celles-ci les symptômes caractéristiques de la maladie. Nous avons retenu les trois genres suivants :

Ravenala (Strelitziacées),
Canna (Cannacées),
Caladium (Aracées),

d'une part parce que les deux premiers de ces genres sont botaniquement voisins - ils appartiennent ainsi que les Musacées à l'ordre des Scitaminales, tandis que le troisième en est éloigné, ordre des Arales -, d'autre part parce que ces genres permettent, par la morphologie de leur limbe, d'utiliser notre méthode habituelle de dépôt des ascospores. Les résultats des inoculations ont été entièrement négatifs, aucun symptôme foliaire n'a été observé.

Nous avons cherché à préciser si la résistance des plantes testées était due à l'impossibilité pour les ascospores du *M. musicola* de germer ou de pénétrer les tissus des espèces étudiées.

a) Germination

Le processus expérimental est celui qui est utilisé habituellement ; les résultats sont rassemblés dans le Tableau 74.

TABLEAU 74
 Essais de germination des ascospores du *M. musicola*
 sur d'autres genres que *Musa*

Genres testés	Pourcentage de spores germées	Longueur en μ des filaments (2 répétitions)	
<i>Ravenala</i>	96	91	83
<i>Canna</i>	98	84	88
<i>Caladium</i>	42	22	7

Il est curieux de constater que sur *Caladium* sp. la germination est très faible, à en juger tant par le pourcentage de spores germées après 24 heures que par le développement mycélien, alors que sur lames de verre la germination s'effectue normalement, au moins au début : après 24 heures la longueur des filaments germinatifs sur la lame de verre est plus élevée que sur feuille de bananier. Peut-être existe-t-il chez le *Caladium* des substances qui inhibent le développement des spores du *Cercospora musae* ou une flore saprophytique qui joue le même rôle?

b) Pénétration

Deux séries d'essais ont été réalisés sur chaque plante avec les résultats suivants, au bout de 144 heures (Tableau 75) :

Sur les genres botaniquement voisins de *Musa* : *Ravenala* et *Canna*, la germination et la pénétration sont normales, mais les symptômes striés ou taches n'apparaissent jamais sur les feuilles de ces espèces. Sur

Caladium il y a une germination très faible et très peu de pénétration.

TABLEAU 75

Essai de pénétration réalisé sur des germes autres que *Musa*

	Non germé en p.cent		Pénétré en p.cent		Non pénétré en p.cent	
Ravenala	0,5	2	60	80	39,5	18
Canna	1	1	65	39	34	60
Caladium	33	46	1	0	66	54

CALPOUZOS (1955), qui a étudié la possibilité de contamination de nombreuses espèces de végétaux à partir des conidies du *Cercospora musæ*, est arrivé à des conclusions identiques à celles auxquelles nous sommes parvenu à partir d'ascospores ; tous ses essais se sont soldés par des échecs. Ce même auteur a réalisé des cultures à partir de *Cercospora* différents récoltés sur un grand nombre de plantes. Il n'a relevé aucune ressemblance ni par la morphologie grossière, ni par la vitesse de croissance.

Il semble bien que l'on puisse admettre que le *M. musicola* soit inféodé strictement au genre *Musa*.

2 - PARMI LES CLONES DU GENRE *MUSA*

La plupart des variétés de bananiers existant dans le monde sont résistantes à la Cercosporiose (SIMMONDS, 1959) ; par contre, toutes les variétés commerciales cultivées pour la vente de leurs fruits y sont très sensibles. Le problème de l'influence de la variété sur le développement des premiers stades du parasite n'a jamais été envisagé. Nous avons cherché à voir si l'immunité de certaines espèces était due à l'impossibilité pour le *M. musicola* de germer et de pénétrer.

Avant d'envisager ce problème, il est bon de rappeler rapidement la classification du genre *Musa*, selon SIMMONDS (loc. cit.), classification que nous avons utilisée dans ce mémoire.

A l'intérieur des Musacées SIMMONDS retient deux genres : *Ensete* et *Musa*.

Le genre *Musa* est divisé suivant la formule chromosomique :

$$\begin{array}{ll} n = 10 : \textit{Australimusa} & n = 11 : \textit{Eumusa} \\ n = 10 : \textit{Callimusa} & n = 11 : \textit{Rhodochlamys} \end{array}$$

Parmi les *Eumusa*, section qui contient la plupart des variétés à fruits comestibles (seul *Musa Fehi* Bert., dont les fruits sont aussi consommés, est un *Australimusa*), SIMMONDS ne conserve que deux espèces qui sont, d'après cet auteur, à l'origine de toutes les variétés cultivées. Ce sont :

n = 11 : *Musa balbisiana* Colla,

n = 11 : " *acuminata* Colla.

Toutes les "pseudo-espèces" produisant des fruits comestibles, répandues dans le monde, sont en réalité des "cultivars" répartis en deux groupes :

1) Les "cultivars" de *Musa acuminata* :

diploïde AA, triploïde AAA, tétraploïde AAA.

2) Les "cultivars" hybrides de *M. acuminata* et de *M. balbisiana* qui comprennent des groupes à dominance des caractères A :

triploïdes AAB, diploïdes AB,

et des groupes à dominance des caractères B :

triploïdes ABB, tétraploïdes AB BB.

La plupart des variétés dont les fruits sont livrés au commerce sont des "cultivars" triploïdes du groupe AAA.

Le groupe AAA est lui-même divisé en trois sous-groupes :

a) Sous-groupe Gros Michel (autrefois *M. sapientum* L.),

b) " Cavendish (autrefois *M. cavendishii* Lambert,
M. chinensis Sweet),

c) " Red et Green-red autrefois rattachés généralement aux
M. sapientum .

Le sous-groupe Cavendish, qui produit la presque totalité des bananes commercialisées sur le marché français, mises à part les bananes Gros Michel en provenance du Cameroun, comprend les clones suivants :

- La "Dwarf Cavendish", ou bananier des Canaries ou bananier Nain, appelée "Petite Naine" aux Antilles et parfois "Camayenne" en Guinée ;
- La "Robusta", ou "Poyo" de la Guadeloupe et de la Guinée, et la "Grande Naine de la Montagne" en Martinique ;
- La "Pisang masak hijau", ou "Lacatan" de Jamaïque.

Un premier essai a été mis en place de façon à établir une comparaison de la sensibilité à la Cercosporiose de différentes variétés de bananiers. Il portait sur les variétés suivantes : Bananier "Nain" (AAA), "Figue sucrée" (AA), Banane "Pomme" (AAB), *Musa acuminata* (A).

Ces bananiers ont été plantés en bordure d'une zone très atteinte ;

6 mois après, le comptage des taches typiques de *Cercospora* sur la 9ème feuille donne :

Bananier "Nain"	103 taches par feuille en moyenne	
"Figue sucrée"	380	"
Banane "Pomme"	15	"
<i>Musa acuminata</i>	0	"

Les surfaces des feuilles adultes de ces différentes variétés étant sensiblement identiques, les différences relevées proviennent bien d'une différence de sensibilité. Ces observations confirment celles réalisées par d'autres auteurs relativement à la résistance de ces quatre variétés.

Nous avons cherché à savoir si cette différence de sensibilité était liée à des modalités de l'infection au stade de la germination et de la pénétration.

a) Germination

Protocole.- Nous avons réalisé une série d'essais portant sur la vitesse de germination des ascospores sur ces différentes variétés, en utilisant la méthode habituelle : libération d'ascospores sur fragments de cigare, observation au bout de 24 heures.

Les résultats sont exprimés dans le Tableau 76 en fonction de la longueur moyenne des filaments germinatifs au bout de 24 heures et du pourcentage de germination.

Aucune corrélation ne peut être relevée entre la sensibilité, la vitesse de germination et le pourcentage de spores germant.

TABLEAU 76

Pourcentage de germination et croissance du filament germinatif sur différents clones de *Musa*

	Pourcentage de germination	Longueur moyenne en μ (2 répétitions)	
"Bananier Nain"	98	98	83
"Figue sucrée"	98	110	95
"Banane Pomme"	97	100	85
<i>Musa acuminata</i>	95	103	100

b) Pénétration

Le même type d'essai a été effectué en étudiant cette fois non plus la germination, mais la pénétration du filament germinatif (Tableau 77).

TABLEAU 77

Pourcentage de pénétration après 120 heures
sur différents clones de Musa

	Non germé en p.cent	Pénétré en p. cent	Non pénétré en p. cent
"Bananier Nain"	0	41	59
"Figue sucrée"	0	53	41
"Banane Pomme"	0	46	54
Musa acuminata	0	34	66

On ne relève là non plus aucun rapport entre la pénétration et la sensibilité variétale.

On peut supposer que la sensibilité, caractérisée par le nombre de nécroses visibles sur le limbe, est fonction des possibilités de pénétration des filaments germinatifs, c'est-à-dire du nombre de stomates au cm².

La répartition des stomates à la surface d'une feuille de bananier est très variable selon la face du limbe et l'endroit où est fait le prélèvement, ainsi que le montrent les chiffres suivants relevés sur un bananier "Nain", au milieu de la feuille.

Nombre de stomates au cm²

	<u>Epiderme supérieur</u>	<u>Epiderme inférieur</u>
Zone en bordure du limbe.....	1.450	7.650
Zone médiane du demi-limbe.....	4.120	15.210
Zone proche de la nervure centrale	6.260	10.870

Cependant si nous effectuons les prélèvements au milieu de la feuille dans la zone médiane du demi-limbe, nous obtenons des chiffres assez constants et le rapport face supérieure/face inférieure est d'environ 1 à 4 comme le montrent les observations suivantes :

Nombre de stomates au cm²

	<u>Face supérieure</u>	<u>Face inférieure</u>
Bananier "Nain"	3.950	14.960
"Figue sucrée"	5.033	19.861
Banane "Pomme"	4.380	16.885
Musa acuminata	4.555	18.933

Il existe effectivement des différences très faibles ; elles n'expliquent en aucune façon les variations de sensibilité observées.

A la suite de ces essais, on peut affirmer pour les variétés testées que la résistance à la Cercosporiose est bien un facteur lié aux conditions internes du développement du parasite dans la feuille. Il se produit un "blocage" du développement dont le mécanisme nous est totalement inconnu. Le terme de "blocage" nous paraît approprié puisque nous savons que sur des variétés résistantes, des taches peuvent apparaître sur les feuilles sénescentes. WARLAW a signalé (1939), et nous l'avons observée nous-même, l'apparition de taches sur les vieilles feuilles encore vertes de *Musa acuminata* dans des zones très contaminées. Cette espèce est cependant considérée comme immune. Il semble donc que le vieillissement de la feuille permette un développement du parasite sur les variétés résistantes.

CONCLUSIONS

Le *M. musicola* semble bien être un parasite strictement inféodé au genre *Musa*, mais cette spécificité n'est pas liée aux premiers stades du développement du parasite ; c'est seulement après la pénétration du filament germinatif à l'intérieur de l'hôte, tant pour le bananier que pour des espèces botaniquement différentes, que se manifeste cette résistance

A l'intérieur du genre *Musa*, il existe de profondes différences de sensibilité à l'égard du parasite ; toutefois, même pour des variétés considérées comme immunes, il semble bien que le champignon après sa pénétration ne soit pas tué ; il reste latent à l'intérieur des tissus de l'hôte et peut se manifester lorsque la feuille devient sénescente.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

La Cercosporiose du Bananier est une affection foliaire locale, de nature fongique, dont les conséquences économiques sont désastreuses pour de nombreux Etats. En Guinée, où la culture bananière a été introduite dès 1900 et où nous avons effectué la plus grande part de nos observations, l'apparition de la maladie a réduit les exportations de 85.000 tonnes en 1955 à 67.000 tonnes en 1957 malgré l'accroissement des surfaces cultivées.

La présence du parasite (*Mycosphaerella musicola* Leach - *Cercospora musae* Zimm.) en Afrique intertropicale est connue depuis d'assez nombreuses années, mais la maladie est bénigne dans les pays proches de la Guinée où les conditions de sol et de climat sont analogues et les méthodes agronomiques très semblables. Les caractéristiques morphologiques, anatomiques et biométriques du champignon sont, d'autre part, identiques dans toutes les régions où son existence a été signalée. Enfin, la spécificité de ses actions parasitaires est très stricte: nos tentatives d'infection expérimentale ont toujours échoué lorsqu'elles ont porté sur d'autres hôtes que les espèces sensibles du genre *Musa*, soit parce qu'il est incapable de pénétrer (*Caladium*, par exemple), soit parce qu'après son entrée il ne peut croître (*Strelitzia*) ou accomplir son cycle de reproduction (*Musa* résistants).

Ces premières informations suggéraient que l'origine de l'explosion de Cercosporiose survenue en Guinée ne résidait vraisemblablement pas dans le passage sur le bananier d'un parasite jusque là confiné sur un autre hôte. Par contre, elles faisaient soupçonner l'intervention de différences locales de pathogénicité du champignon, par introduction d'une race nouvelle, à la suite d'une variation héréditaire affectant une race préexistante ou par l'effet de changements dans l'importance relative des constituants d'une population hétérogène.

Pour mettre à l'épreuve ces hypothèses, nous avons isolé et mis en culture pure de nombreuses ascospores de provenances très diverses. Nous

n'avons décelé aucune différence entre ces lignées d'origine monocaryotique, mais toutes se sont révélées susceptibles de varier avec une haute fréquence. Beaucoup parmi ces variations s'accompagnent de stérilité et ne pourraient se maintenir dans les conditions naturelles. Mais d'autres, caractérisées par une sporulation surabondante, conservent cet avantage sur les souches originelles après inoculations au bananier.

Il apparut surtout que le rôle joué par les deux modes de propagation de la maladie n'est pas le même en Guinée et dans les autres contrées où la Cercosporiose est grave. Alors que partout ailleurs une part majeure est attribuée aux conidies et que, par conséquent, de très nombreux auteurs ont étudié la phase du cycle du parasite qui les concerne, les ascospores constituent le vecteur habituel en Guinée. Ceci nous a conduit à consacrer l'essentiel de ce mémoire à la partie du cycle du parasite caractérisée par la reproduction sexuelle, la libération et la dispersion des ascospores, leur germination, la pénétration dans le parenchyme foliaire du bananier, les manifestations de la maladie. Ceci a exigé, au préalable, la mise au point d'une méthode de collecte en masse des ascospores à partir des feuilles de bananier attaquées car, si nous avons réussi à obtenir des stromas conidifères et des spermogonies, nos essais de culture *in vitro* n'ont pas abouti à la production de périthèces fertiles.

Dans les conditions climatiques de la Guinée les ascospores sont présentes la plus grande partie de l'année. Leur libération est déclenchée par les pluies et elle se produit très rapidement, une vingtaine de minutes après le début des précipitations. Une pluie ininterrompue, quelle que soit sa durée et son intensité, ne provoque qu'une seule libération alors que des discontinuités provoquent autant de libérations successives. Des hauteurs de pluie supérieures à 1 mm sont nécessaires pour déclencher les libérations importantes, mais les brouillards et les rosées suffisent, durant les périodes sans pluie, pour maintenir un taux de libération appréciable.

La dispersion des ascospores est passive et assurée essentiellement par les courants aériens. Les courants ascendants les élèvent jusqu'à la face inférieure des feuilles les plus hautes. Les courants latéraux les propagent à grande distance. Elles seules sont d'ailleurs susceptibles d'être transportées au loin, car les conidies sont véhiculées par les gouttelettes d'eau provenant des pluies et des rosées, dans un faible rayon par conséquent et surtout des parties hautes des bananiers vers les parties basses. Le besoin d'eau liquide pour la sortie des ascospores hors des périthèces et de vent pour leur dissémination explique pourquoi les périodes où sévissent les tornades sont particulièrement favorables à l'explosion brutale de la maladie.

La germination des ascospores dépend de deux facteurs principaux : la température et l'humidité de l'air. La température optimale est proche de 25° C, les extrêmes sont de 8° et 38° C. Ces chiffres montrent bien que la température ne peut que rarement être un facteur limitant : la Guinée est soumise à des climats parfois juste convenables pour la culture normale du bananier, mais la température n'y freine guère la germination du *M. musicola* que pendant quelques semaines chaque année et seulement quelques

heures par jour. Le pourcentage d'humidité nécessaire varie entre 95 et 100 ; ces limites sont donc assez étroites, mais en Guinée la saturation est atteinte au moins la nuit durant toute l'année. Au laboratoire, sur des substrats variés, et dans la bananeraie, la germination s'amorce dans les deux heures qui suivent la réunion de conditions externes favorables.

Les recherches sur la pénétration ont montré que celle-ci ne peut se produire qu'après un laps de temps beaucoup plus long : une soixantaine d'heures. L'aptitude à pénétrer marque donc un stade du développement du tube germinatif atteint beaucoup plus tard que le stade correspondant à l'aptitude à germer. Nous avons montré que le facteur externe principal qui gouverne la pénétration est le pourcentage d'humidité de l'air ; les mouvements stomatiques et la lumière ne jouent aucun rôle.

La durée de l'incubation est liée à trois facteurs : la vitesse de croissance du bananier, la température des tissus foliaires, la quantité d'inoculum. Quoique la vigueur végétative ne joue pas un grand rôle, son action se manifeste cependant par un temps d'incubation plus court pour les bananiers les plus vigoureux. Les températures ont des effets plus marqués, mais elles agissent uniquement par leurs valeurs extrêmes ; afin de préciser ce point nous avons déterminé les températures réelles au niveau des différents organes du bananier. Le facteur principal est la quantité d'inoculum : l'incubation peut varier de 15 à plus de 45 jours selon la densité des germes infectants (conidies ou ascospores) sur la feuille.

Les manifestations de la maladie ont été étudiées en observant l'évolution de lésions individuelles et la répartition des nécroses sur le limbe. Le temps nécessaire à la manifestation des symptômes successifs de la Cercosporiose est lié aux mêmes facteurs principaux qui gouvernent la durée de l'incubation, c'est-à-dire la quantité d'inoculum et le climat. Ces faits ont été démontrés expérimentalement pour des populations importantes de taches.

En plus des symptômes déjà connus et qui résultent de contaminations provoquées soit par des conidies, soit par des ascospores, mais toujours à la suite de transports à faible distance, nous avons reconnu un nouveau faciès lié à la dispersion des ascospores transportées à grande distance par le vent.

L'évaluation des dommages provoqués par une maladie parasitaire est toujours délicate ; nous avons donc comparé plusieurs méthodes d'observation et de représentation graphique. Elles nous ont permis de mettre en évidence un lien entre la quantité d'inoculum, la durée de l'incubation et la vitesse à laquelle se succèdent les symptômes de la Cercosporiose jusqu'à la nécrose finale.

En possession de ces éléments nous pouvions entreprendre l'analyse des conditions d'efficacité des traitements chimiques. Nous avons limité nos investigations aux modalités d'action des huiles minérales : inopérantes lorsque l'expérimentation est conduite sur des fragments de feuilles détachés, elles inhibent presque totalement la germination des ascospores

puis la pénétration de leurs filaments germinatifs lorsqu'elles sont appliquées dans la plantation même, sur la feuille intacte. Le traitement est d'autant plus efficace qu'il est effectué plus tôt avant le dépôt des ascospores. D'autre part, l'huile n'agit pas seulement sur ces premières phases de la maladie, elle stoppe la croissance et le développement du parasite déjà établi dans le parenchyme foliaire. Elle permet donc de protéger efficacement le bananier sans qu'il soit nécessaire de multiplier les traitements pour couvrir en permanence la totalité de la surface des limbes au fur et à mesure de leur croissance.

Les travaux qui viennent d'être brièvement résumés ont été entrepris dans le but très précis de mieux connaître les problèmes que pose la Cercosporiose du Bananier et d'aider ainsi techniciens et producteurs à en réduire les conséquences économiques. La masse importante des observations et des résultats expérimentaux déjà recueillis dans les autres grandes régions de culture s'est très vite montrée de relativement peu de secours pour atteindre ce but en Guinée. L'agent causal appartient bien à la même espèce fongique, mais les conditions de propagation de la maladie y sont profondément modifiées par la prédominance, jamais réalisée ailleurs, de la phase ascosporee du *M. musicola* sur sa phase conidienne.

Les questions posées étaient donc très nombreuses et il n'était pas possible de les traiter toutes de façon exhaustive. Un choix s'imposait, il a été guidé par deux préoccupations. La première était de recueillir des informations nouvelles ou plus précises sur la biologie du *M. musicola* et ses relations avec son hôte spécifique, le bananier : les conclusions propres à cette fin ont été consignées à l'occasion de chacun des chapitres du présent mémoire. Notre second objectif a été d'utiliser le problème particulier avec lequel nous étions confronté pour accroître nos connaissances dans les domaines de la pathologie végétale et de la biologie des parasites cryptogamiques dans les régions intertropicales. Quelques observations, certains résultats nous paraissent susceptibles d'une telle généralisation ou soulèvent des questions d'une portée plus large.

Un point à retenir est le fait que la constance apparente de la morphologie des parasites peut masquer des variations héréditaires très importantes de leurs autres caractéristiques et notamment de leur pathogénicité. L'étude morphologique, structurale et biométrique du *M. musicola* pendant dix années n'a jamais permis de déceler des différences autres que celles qui sont attribuables, dans une population génétiquement homogène, à des fluctuations individuelles et immédiatement réversibles lorsque cesse l'action externe qui les a provoquées. Cependant il existe des différences de virulence très marquées selon les régions où sévit le *M. musicola* et dans le temps pour une même région. Une telle situation n'est pas particulière à la Cercosporiose du Bananier. Elle voue à l'échec bien des tentatives de distinction entre les races d'un parasite sur la base des seuls examens microscopiques du matériel prélevé sur l'hôte malade. L'expérimentation sur le parasite mis en culture pure au laboratoire peut être alors d'un grand secours. Dans le cas du *M. musicola*, elle a révélé que des variations héréditaires peuvent survenir avec une fréquence élevée. Certaines lignées obtenues dans ces conditions expérimentales seraient très certainement

éliminées si elles apparaissaient dans le milieu naturel. C'est le cas, de toute évidence, des souches qui ne se propagent plus que par multiplication végétative de filaments mycéliens stériles. Mais la pression exercée par le milieu naturel n'interdit pas le maintien ou le succès de certains types nouveaux : des souches produisant un plus grand nombre de conidies que les souches originelles ont été obtenues à maintes reprises et nous avons pu démontrer en serre qu'elles s'implantaient aisément sur le bananier.

Ces exemples de variation fréquente en culture pure et de stabilité au moins apparente dans le milieu naturel illustrent l'importance du complément de connaissances qu'on peut attendre de l'expérimentation au laboratoire. Mais celle-ci a très fréquemment besoin d'être confirmée par l'expérimentation au champ avant d'autoriser des conclusions solides. Les études comparatives que nous avons menées sur la germination des ascospores du *M. musicola* d'une part, sur l'effet des traitements huileux d'autre part rendent très évident le danger qu'il y aurait à transposer directement dans le champ cultivé des résultats acquis seulement in vitro ou même sur des organes vivants séparés de la plante-mère.

Un même pourcentage, très élevé, d'ascospores germe sur eau gélosée et sur limbe, mais le devenir du tube germinatif est très différent. Dans le premier cas, sa croissance est lente le premier jour, puis très rapide pendant quelques heures et finalement très anormale : ramification très fréquente, gonflement et vacuolisation des articles. Sur la feuille, son allongement s'effectue à vitesse constante et sans anomalie aussi longtemps que la teneur en eau du milieu demeure inchangée. De plus, seule l'expérimentation sur le support naturel a permis de mettre en évidence l'effet de l'état physiologique de la feuille sur la vitesse de croissance du parasite avant même qu'il ne pénètre dans cette feuille.

Les traitements huileux ne réduisent pas notablement le taux de germination des ascospores lorsqu'ils sont appliqués sur des fragments de feuille détachés, ni lorsqu'ils sont effectués en plantation, même plusieurs jours avant le prélèvement des fragments, le transport de ceux-ci au laboratoire et le dépôt des spores. Par contre, lorsque l'inoculation du parasite et le traitement sont effectués sur des feuilles en place sur les bananiers dans la plantation, le taux de germination des ascospores est considérablement diminué et sa chute s'accroît d'autant plus que l'huile est déposée plus longtemps avant le *M. musicola*.

Une des caractéristiques du *M. musicola* est la présence simultanée sur l'hôte des différentes formes de reproduction du parasite, alors que chez beaucoup d'ascomycètes vivant dans les zones climatiques tempérées, elles se succèdent dans le temps. Par exemple, dans le cas de la tavelure du pommier, les périthèces du *Venturia inæqualis* n'atteignent la maturité que sur les feuilles mortes et détachées de l'arbre. Le *Rhytisma acerinum* constitue une autre illustration de ce fait. Cette réduction de la longueur du cycle du champignon, par confusion des phases, nous est apparue comme la résultante de deux actions principales exercées par le milieu.

La première est liée à la très faible amplitude des variations

climatiques saisonnières dans les régions équatoriales ou tropicales humides : le milieu physique n'impose pas un rythme très marqué à la croissance et au développement des champignons. Certaines maladies qu'ils provoquent manifestent bien une recrudescence aux périodes de l'année les plus favorables, mais la plupart d'entre elles ne cessent jamais d'être présentes. C'est un élément important à considérer pour établir un calendrier de traitement par voie chimique.

Le second facteur est la brièveté de la durée de vie des organes qui supportent le champignon et leur destruction rapide ensuite. Une feuille de bananier peut être totalement desséchée, et par conséquent rendue inutilisable par un parasite, après 60 à 90 jours seulement. Une telle feuille est ensuite rapidement désorganisée et détruite par les nombreux et actifs saprophytes qui l'envahissent, surtout en période humide. De telles conditions éliminent bien évidemment les organismes parasites dont le cycle se déroule sur une longue période de temps ou dont une phase s'accomplit nécessairement sur un organe détaché de la plante qui le produit. Ceci explique que la désinfection ou la suppression des organes morts soit plus rarement utile dans les régions intertropicales que dans les zones tempérées.

L'étude fine de certains aspects du développement du *M. musicola* et de ses relations avec son hôte a d'autre part attiré notre attention sur des problèmes jusqu'ici mal connus ou négligés malgré leur intérêt général.

Les spores de beaucoup de champignons sont aptes à germer dès leur séparation de l'appareil reproducteur. C'est le cas des ascospores de *M. musicola* chez lesquelles l'ébauche d'un tube germinatif est reconnaissable deux heures après leur libération du périthèce, lorsque les conditions externes favorables sont réunies. Cependant cette hyphes germinative ne s'engage jamais dans un stomate avant 48 heures au minimum et le plus souvent 60 heures. Ce délai ne correspond pas au temps nécessaire pour que le filament émis par une spore tombée au hasard sur le limbe atteigne un stomate : il est fréquent de voir ce filament croître au-dessus d'une ou de deux ouvertures avant de s'introduire dans une troisième. Il semble donc bien que chez cet organisme l'aptitude à germer précède l'aptitude à pénétrer. L'émission, l'allongement et la pénétration du filament ne sont donc peut-être pas de simples faits de croissance. Le dernier au moins paraît caractériser une étape du développement et, comme ce stade n'est atteint qu'après un délai inhabituellement prolongé, le *M. musicola* pourrait offrir un matériel de choix à ceux que préoccupe le problème de la différenciation au niveau cellulaire.

Un autre problème soulevé par les présentes recherches est celui de la relation entre la quantité d'inoculum par unité de surface et le pronostic de la maladie, tant en ce qui concerne la durée de la phase d'incubation que l'évolution ultérieure des lésions. Une telle relation a été proposée par LEACH (1946) à propos des conidies. Nous l'avons vérifié à propos des ascospores : plus la quantité d'inoculum est importante et plus le déroulement de la maladie est rapide.

Les phytopathologistes ont consacré peu de travaux à de telles recherches. Le problème semble même n'avoir jamais été expressément posé avant LEACH (loc. cit.). HEALD (1921) a observé une différence importante entre les possibilités infectantes d'une seule spore et celles d'une suspension contenant un grand nombre de spores. WILSON (1937), a montré que la "chocolate spot disease" de la fève, provoquée par le *Botrytis cinerea*, présente deux syndromes très différents, l'un bénin, l'autre grave, selon que l'inoculum est à faible ou forte concentration. Une relation a cependant été établie, mais pour des virus, entre le temps d'incubation et le logarithme de la dilution de l'inoculum : encéphalomyélite de la souris (GARD, 1940) et diverses maladies à virus des animaux (BRYAN et BEARD, 1939 ; BRYAN, 1956). Nos propres observations sur les ascospores et le travail de FROSSARD (1963), qui confirme celui de LEACH (loc. cit.) sur les conidies, démontrent que les maladies provoquées par le champignon chez les végétaux supérieurs peuvent être également soumises à cette relation. Des recherches étendues à d'autres affections cryptogamiques pourraient confirmer son caractère général.

Le dernier point considéré sera celui de l'action prépondérante des ascospores en Guinée, tant sur la dissémination du parasite à grande distance - nous avons vu en effet que seules les ascospores pouvaient assurer une telle dissémination - que sur le rôle joué par celles-ci dans la contamination d'une bananeraie déjà atteinte par le parasite.

On admet qu'habituellement le rôle des ascospores est d'assurer la continuité de l'espèce durant les périodes climatiques défavorables. On pouvait donc imaginer que sous des climats tropicaux où les conidies sont présentes toute l'année, les ascospores ne joueraient plus qu'un rôle très secondaire. Or il n'en est rien ; dans les conditions guinéennes leur rôle est primordial, comme nous l'avons montré à maintes reprises. On doit donc admettre que les conditions guinéennes sont très particulières, ou bien que l'importance exacte des ascospores dans d'autres régions de culture bananière n'a pas été suffisamment précisée.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBREVILLE A.- Flore forestière soudano guinéenne
1950 - Ed.: Société d'Éditions géographiques, Maritimes et coloniales,
Paris, 523 p..
- BOURIQUET G. et BATAILLE J.- Deux champignons parasites du bananier à Madagascar :
Cercospora musae et Alternaria musae nov. sp.
1958 - *Fruits*, 13, 2, 47-52.
- BRUN J.- Etude sur l'action des fongicides huileux dans la lutte contre
la Cercosporiose. Note préliminaire.
1958 - *Fruits*, 13, 1, 3-14.
- BRUN J.- Etude de l'action des fongicides huileux dans la lutte contre
la Cercosporiose. Action des traitements huileux sur la ger-
mination et la pénétration des ascospores de *M. musicola* Leach
1959 - *Fruits*, 14, 10, 419-422.
- BRUN W.A. Rhythmic stomatal opening responses in banana leaves.
1961 - *Plant Physiol.* 36, 4, 399-405.
- BRYAN W.R.- Biological studies on the Rous Sarcoma virus. IV. Interpre-
tation of tumor response data involving one inoculation
site per chicken.
1956 - *J. nat. Cancer. Inst.*, 16, 4, 843-863.

- BRYAN W.R. et BEARD J.W.- Estimation of purified papilloma virus protein by infectivity measurements.
1939 - *J. Infectious Diseases*, 65, 306-321.
- CALPOUZOS L.- Controlled sporulation of *Cercospora musae* Zimm. in pure culture.
1954 - *Nature*, 173, 4414, 1084-1085.
- CALPOUZOS L.- Studies of the Sigatoka disease of bananas and its fungus pathogen.
1955 - Ed.: *Atkins Garden and Research Laboratory Cienfuegos, Cuba*, 70 p.
- CALPOUZOS L., THEIS T., RIVERA C. et COLBERG C.- Studies on the action of oil in the control of *Mycosphaerella musicola* on banana leaves.
1959 - *Phytopath.* 49, 3, 119-122.
- CAMPBELL J.G.C.- Banana disease (comparison of Fijian and Queensland species of *Cercospora* associated with leaf spot of bananas.
1926 - *Legislative Council Fiji, Council Paper n° 70*.
- CHADEFAUD M.- *Traité de Botanique systématique. Tome I. Les végétaux non vasculaires (cryptogamie)*
1960 - Ed.: *Masson, Paris*, 1018 p.
- CHAMPION J.- *Le bananier.*
1963 - Ed.: *G.P. Maisonneuve et Larose, Paris* 263 p.
- CHEVAUGEON J. et DIGBEU S.- Un second facteur cytoplasmique infectant chez le *Pestalozzia annulata*.
1960 - *C.R. Acad. Sci., Paris* 3043-3045., 19 Dec.
- CHEVAUGEON J.- Modification extra-chromosomique et âge du thalle chez le *Pestalozzia annulata*.
1962 - *C.R. Acad. sci., Paris*, 1980-1982, 15 oct.
- CHUPP C.- A monograph of the fungus genus *Cercospora*.
1953 - Ed.: *Ithaca, New York*, 667 p.

- CUILLE J.- La phytotoxicité des huiles minérales utilisables par l'atomisation.
1952 - Extraits des *Comptes Rendus du IV^e Congrès international de lutte contre les ennemis des plantes*, Hambourg, vol.II, 1535-1539.
- DANTAS B.- A ocorrência da "Cercosporiose" da bananeira no Brasil. *Cercospora musae* Zim.
1948 - *Bol. fec. Inst. Agron. Norte*, n° 14, 46 p., Mar.
- FERNANDEZ B.O.- Estudios sobre la nutrición y desarrollo del *C. musae* causante de la "Sigatoka" del banano.
Tesis sin publicar Turrialba, Costa Rica, Instituto interamericano de Ciencias agrícolas, 69 p.
1953 - Abstract : *Turrialba*, 3, 4, 200, Oct.-Dec.
- FRESENIUS G.- Beiträge zur Mycologie.
1864 - *Drittes Heft*, 91-94, 1863 et *Hedwigia*, 3, 17-21,
- FROSSARD P.- Ouverture des stomates.
1961 - Document non publié,
- FROSSARD P. Ouverture des stomates. Test à l'alcool isopropylique.
1962 - Document non publié,
- FROSSARD P.- Action de la quantité d'inoculum sur la durée de l'incubation et de l'évolution de *Mycosphaerella musicola*.
1963 - Document non publié,
- FULTON R.H.- Perfect stages of *Cercospora musae* in Central America and factors affecting ascospore frequency.
1962 - *Phytopath.* 52, 1, 1-34.
- GARD M.D.- Encephalomyelitis of mice. II. A method for the measurement of virus activity.
1940 - *J. Exptl. Med.*, 72, 1, 69-77, Jul.
- GUYOT H. et CUILLE J.- Les formules fongicides huileuses pour le traitement des bananeraies.
1954 - *Fruits*, 9, 7, p. 289-292.

GUYOT H. et CUILLE J.- Les traitements fongicides des bananeraies. II. Efficacité des différents modes de traitements. Rôle de l'huile.

1955 - *Fruits*, 10, 3, 101-107.

GUYOT H. et CUILLE J.- Les traitements fongicides des bananeraies. III. Résultats pratiques obtenus en Guadeloupe lors des applications de brouillards légers huileux.

1956 - *Fruits*, 11, 4, 141-150.

HEALD F.D.- The relation of the spore-load to the percentage of smut appearing in the crop.

1921 - *Phytopath.*, 11, 269-278.

HIGGINS B.B.- Morphology and life history of some ascomycetes with special references to the presence and function of spermatia. I.-

1920 - *Amer. J. Bot.*, 7, 435-444.

HIGGINS B.B.- Morphology and life history of some ascomycetes with special references to the presence and function of spermatia. II.

1929 - *Amer. J. Bot.*, 16, 287-296.

HIGGINS B.B.- Morphology and life history of some ascomycetes with special reference to the presence and function of spermatia. III.

1936 - *Amer. J. Bot.*, 23, 598-602.

HOLLIS J.P. Sigatoka disease of banana.

Formerly associate Plant Pathologist. Department tropical

Research United Fruit Company, La Lima, Honduras, Central

1954 - *America*, Mai 1953 - Mar. 1954. Non publié.

JARVIS W.R.- An apparatus for studying hygroscopic responses in fungal conidiophores.

1960 - *Trans. Brit. Mycol. SA.*, 43, 3, 525-528.

JENKINS W.A.- Cherry leaf spot fungus *Mycosphaerella cerasella* Aderh. its morphology and life history.

1930 - *Phytopath.* 20, 329-337, 1930.

- JENKINS W.A. Two fungi causing leaf spot of peanut.
1938 - *J. agric. Res.*, 56, 317-332.
- JENKINS W.A.- Development of *Mycosphaerella berkeleyi*.
1939 - *J. agric. Res.*, 58, 617-620.
- JINKS J.L.- Cytoplasmic differentiation in fungi-
1959 - *Proc. Roy. Soc. Bot.*, 148, 314, 1959.
- JOHANSON C.J. Svampar fran Island (Pilze aus Island).
1885 - *Svenska Vetensk. Acad. Öfvers.*, 1884, Stockholm. 9, 157,
- JOHNSON E.M. et WALLEAU W.D.- Synonymy in some common species of *Cercospora*.
1953 - *Phytopath.* 43, 477.
- KERN H.- Problems of incubation in plant diseases.
1956 - *Annual Review of Microbiology*, 10, 351-368.
- LEACH R.- Banana leaf spot *Mycosphaerella musicola* the perfect stage
of *Cercospora musae* Zimm.
1941 - *Trop. agric. Trin.* 18, 5, 91-95.
- LEACH R.- Banana leaf spot investigations. The basis of control.
1941 - *Dep. Sci. Agric. Jamaica Bull.*, 26, 1-8.
- LEACH R.- Banana leaf spot (*Mycosphaerella musicola*) on the Gros-Michel
variety in Jamaica.
1946 - *Government Printer, Kingston*, 118 p.
- LEACH R.- Helicopter spraying of banana against Sigatoka in Jamaica.
1958 - *Congrès international d'Horticulture*, Nice.
- LIENEMAN C. Host index to the North American species of the genus *Cercospora*.
1929 - *Ann. Mo. Bot. Garden*, 16, 1-52.
- LINDAU G. Die mikroskopischen Pilze.
1922 - Ed.: *Springer*, Berlin, 301 p.

- MEREDITH C.H. et BUTLER A.F.- The production of *Cercospora musae* conidia in banana leaf-agar.
1939 - *J. Jamaican Agric. Soc.*, 43, 12, 621.
- MERNY G. Micro-essais de traitement contre *Cercospora musae*.
1955 - *Fruits*, 10, 6, 225-235.
- MILLER L.I. Studies of the parasitism of *Cercospora arachidicola* Hori and *Cercospora personata* (B et C) Ell. et Ev.-
1953 - *Diss. Abstr.*, 13, 5, 644-645.
- NANNFELS J.A. Studien über die Morphologie und Systematik der Nicht-Lichenisierten inoperculatem discomyceten.
1932 - *Nova Acta Regiae Soc. Sc. Upsaliensis*, IV, 8, 368 p.
- PARHAM B.E.V. Annual Report on banana diseases investigations, 1934.
1935 - *Ann. Bull. Dept. Agric. Fiji*, 41-48.
- PRICE D. Les facteurs climatiques dans la lutte contre la Cercosporiose.
1960 - *S.P.A.N.*, 3, 3.
- ROGER L. Phytopathologie des pays chauds.
1954 - Ed.: Lechevallier, Paris, 3154 p.
- ROSEN D. et RYAN D.M.- Early growth stages of *Neurospora crassa*.
1960 - *Transactions of the British Mycological Society*, 43, 1, 1960.
- SIMMONDS J.H.- Banana leaf spot.
1933 - *Queensland Agric. J.*, 39, 21-40, Jan.
- SIMMONDS J.H.- Influence of seasonal conditions on the development of *Cercospora* leaf spot of the banana. With special references to the control programon.
1939 - *Queensland agric. J.*, 52, 633-647.
- SIMMONDS N.W. Bananas.
1959 - Ed.: Longmans, London, 1^o ed., 466 p.

- SØRGEL G.- Über den Entwicklungsgang von *Mycosphaerella pinodes* (Berk. et Blox.) Stone. II Der Einfluss der Wasserstoffionenkonzentration auf die Ausbildung der Fortpflanzungsorgane.
1953 - *Arch. Mikrobiol.*, 19, 4, 372-397.
- STAHEL G.- Notes on cercospora leaf-spot of bananas (*C. musae*).
1937 - *Trop. Agric. Trin.*, 14, 9, 257-264.
- STOVER R.H.- Intercontinental spread of banana leaf-spot *M. musicola* Leach.-
1962 - *Trop. Agric. Trin.*, 39, 4, 327-338.
- TOLLENAAR D.- The control of Sigatoka (banana leaf-spot disease) by mist-blowing with Banacobre Sandoz.
1955 - *Neth. J. agric. Sci.*, 3, 1, 70-83.
- VIENNOT-BOURGIN G.- Travaux du laboratoire de Pathologie végétale.
1961 - *I.N.A.*, 1961, (non publié).
- WARDLAW C.W.- Diseases of the banana.
1935 - Ed.: Mac Millan, London, 1^o ed., 615 p.
- WARDLAW C.W.- Cercospora leaf-spot. Disease of bananas.
1939 - *Nature*, 144, 11, Junl.
- WELLES C.B.- Observations of taxonomic factors used in the genus *Cercospora*.
1924 - *Science*, new serie, 59, 216-218, Jan.-Jun.
- WELLES C.B.- Taxonomic studies on the genus *Cercospora* in the Pilippins Islands.
1925 - *Amer J. Bot.*, 12, 195-218.
- WILSON A.R.- The chocolate spot disease of beans (*Vicia faba* L.) caused by *Botrytis cinerea* Pers.
1937 - *Ann. appl. Biol.*, 24, 2, 258, 288, 2 pl., 3 fig.
- WOLF F.A. The perfect stage of *Cercospora rubi*.
1935 - *Mycologia*, 27, 347-356.

- WOLF F.A. Leaf spot of ash and *Phyllosticta viridis*.
1939 - *Mycologia*, 31, 258-266.
- WOLF F.A. The perfect stage of *Cercospora sordida*.
1943 - *Mycologia*, 35, 503-509.
- ZIMMERMAN A.- Über einige tropischer Kulturpflanzen beobachtete Pilze.
 Central f. Bakter, 2, 8, 219, 1902. in *Saccardo P.A. Sylloge*
1906 - *fungorum*, 18, 610.
- ANONYME: Handbook of chemistry and physics. 4 th. ed.
1955 - Ed.: *Chemical Rubber Publishing*, Cleveland, Ohio.

DEUXIÈME THÈSE

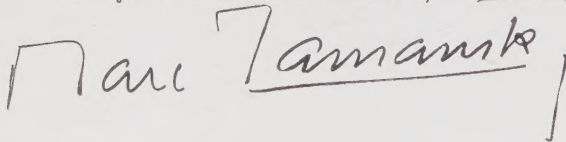
Propositions données par la Faculté

LE BILAN D'EAU DU BANANIER

Vu et approuvé :

Paris le 6 Novembre 1963

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

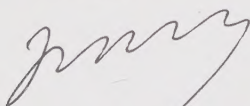
A handwritten signature in dark ink, reading "Marc Zamansky". The signature is written in a cursive style, with the first name "Marc" and the last name "Zamansky" clearly legible. The signature is positioned below the text "Le Doyen de la Faculté des Sciences," and above the printed name "Marc ZAMANSKY."

Marc ZAMANSKY.

Vu

et Permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie
de Paris,

A handwritten signature in dark ink, reading "Jean Roche". The signature is written in a cursive style, with the first name "Jean" and the last name "Roche" clearly legible. The signature is positioned below the text "Le Recteur de l'Académie de Paris," and above the printed name "Jean ROCHE."

Jean ROCHE.

Ouvrage composé sans mots coupés
au Justificateur L'église
et imprimé au Centre de Documentation
de l'IFAC